

Hans Fritz

DIE „PRÄFERENDUMEINSTELLUNG“ UND
REGENERATION VON DUGESIA GONOCEPHALA
IN ABHÄNGIGKEIT VOM OPTISCHEN SPEKTRUM

Frankfurt am Main 1963



Digitized by the Internet Archive
in 2026

DIE „PRÄFERENDUMEINSTELLUNG“ UND REGENERATION
VON DUGESIA GONOCEPHALA
IN ABHÄNGIGKEIT VOM OPTISCHEN SPEKTRUM

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von
Hans F r i t z
aus Darmstadt
1963



Gedruckt mit Genehmigung der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Frankfurt am Main.

Dekan: Prof. Dr. Th. Wieland

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. R. Lotz

2. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Lindauer

Tag der mündlichen Prüfung: 25. 7. 1963

Inhaltsübersicht

Seite

I. Einleitung und Problemstellung.....	4
II . Material und Methode.....	8
A. Tiermaterial und Tierhaltung.....	8
B. Versuchseinrichtungen.....	8
C. Transmission und Absorption der Filter und des Wassers, sowie Absolutwerte und energetische Anpassung der Strahlung.....	14
D. Histologische Prüfung.....	20
E. Statistische Bearbeitung der Versuchsergebnisse.....	20
III. Experimenteller Teil.....	21
A. Orientierende Vorversuche.....	21
1. DerEinfluß von Licht.....	21
a. Ganze Tiere.....	21
b. Dekapitierte <i>Dugesia gonocephala</i>	23
2. Der Einfluß von Dunkelheit.....	23
3. Temperatur.....	25
B. Spektrale und energetische Abhängigkeit der Präferen- dumeinstellung.....	27
1. Spektrale Abhängigkeit. Versuche mit Farbfiltergläsern.	27
a. „Zweilicht“- Versuche.....	27
b. „Vierlicht“- Versuche.....	43
2. Energetische Abhängigkeit.....	45
3. Licht- / Dunkel - Versuche.....	60
4. „Grau-“ oder „Helligkeitsstufen“, Schwellenwerte.....	63
5. Vergleichende Betrachtungen über die physiologischen Reizgrößen für die einzelnen Spektralbereiche.....	67
6. Photorecetoren und präferendale Einstellung.....	67
7. WG1 - adaptierte <i>Dugesia gonocephala</i> 69	
8. Versuche mit Metallinterferenzfiltern.....	70
C. Untersuchungen über die Bewegungsgeschwindigkeit.....	78
D. Der Einfluß verschiedener Spektralbereiche und der Dunkelheit auf die Regeneration.....	81
IV. Besprechung der Ergebnisse.....	97
V. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	106
VI. Literatur.....	108

I. Einleitung und Problemstellung.

Die Literatur bringt viele Beispiele über die Wirkung der sichtbaren optischen Strahlung auf eine präferendale Einstellung der Tiere. In einigen Arbeiten wird dabei auch die Abhängigkeit des Aufsuchens eines Vorzugsbereiches von der Bewegungsaktivität untersucht.

Über das präferendale Verhalten der Insekten bei Darbietung verschiedener Spektralbereiche liegen Untersuchungen vor von:

M.G. POUCHET (1871/72); C. HESS (1910); W.B. HERMS (1911); A.O. GROSS (1913); D. ILSE (1929); L.M. BERTHOLF (1933); W. SANDER (1934); A. HUNDERTMARK (1937); H.L. GUI, L.C. PORTER u. G.F. PRIDEAUX (1942); P.A. GLICK (1955); C. DUFAY (1957, 1957a); M. FERON (1957); I.H. GILBERT u. H.K. GOUCK (1957); S. MICHIELI (1957); V.B. TSCHERNJISCHEW (1959); R.A. STERMER (1959); C. DUFAY (1961); R.A. KILLOUGH (1962). Soweit es die spektralen Vorzugsgebiete der Insektenimagines betrifft, so scheint, den zitierten Veröffentlichungen zufolge, das Präferendum immer im Kurzwelligen zu liegen. Über die spektrale Präferendumeinstellung von wasserlebenden Wirbellosen liegen einige Arbeiten über Daphniden vor: P. BERT (1869; cit. v. FRISCH u. KUPELWIESER, 1913); C. HESS (1910); K. v. FRISCH u. H. KUPELWIESER (1913); G. VIAUD (1935, 1951, 1958). G. VIAUD (1943) beobachtete bei dem Rotator *Asplanchna girodi* einen für verschiedene Wellenlängen jeweils charakteristischen Grad einer positiv-„phototaktischen“ Einstellung. Über die Reaktion der Vertebrata auf Strahlung verschiedener Wellenlängen liegt u. a. eine an Amphibien exakt durchgeführte und umfangreiche Arbeit von H. LAURENS vor (1908 -13). *Bufo americanus* und *Bufo fowleri* zeigten am häufigsten Bewegungen zum Blau hin, weniger zum Grün und Gelb, am wenigsten zum Rot und zur Dunkelheit. E. BEUTHER (1925/26) befaßt sich nicht nur mit dem Einfluß gefilterten Lichtes auf die Lebensdauer der Tricladen, sondern auch mit deren Farbunterscheidungsvermögen. Diese Versuche ließen eine Präferendumeinstellung erkennen, indem die Tricladen langwellige Strahlung der kurzwelligen Strahlung, die Dunkelheit dagegen aber dem kurzwelligen Licht vorzogen. Untersuchungen an *Dugesia lugubris*, die A. ERHARDT (1932) durchführte, sind unter Benutzung von Hering-Pigmentpa-

pieren erfolgt. Dabei ergab sich, daß schwarzer Untergrund einem orange - rotpurpurnen Untergrund vorgezogen wurde, während die Verteilung bei Gegenüberstellung von Schwarz und Rot bzw. Dunkelrot 1:1 war. Zu diesen Versuchen wäre prinzipiell zu sagen, daß es sich bei dem an Hering-Papieren reflektierten Licht um Mischfarben mit verschiedenen Blau-, Rot- und Violettanteilen handelt. Hinzu kommt, daß es bei der beschriebenen Bestrahlungseinrichtung nicht ausgeschlossen werden konnte, daß eine Temperaturerhöhung um einige Grad stattfand. Wenn E. BEUTHER (1925/26) zufolge ein „Farbensehen“ der Dugesien wahrscheinlich ist, so identifiziert A. ERHARDT (1932) das Unterscheiden verschiedener Spektralbereiche mit reinen „Helligkeitsreaktionen“, d. h. die Tiere sollen die einzelnen Farben als verschiedene Graustufen wahrnehmen. Zu diesem Schluß kommt auch G. LEMKE (1935). Die Autorin stellte - unter Anwendung exakterer Methoden - fest, daß die Tricladen *Dendrocoelum lacteum* und *Dugesia lugubris* jeweils einen dunkel Untergrund der Farbe, die Farbe aber dem Weiß vorzogen. Die Lichtstärke, die eingestellt werden muß, um ein Licht mit einem anderen auf die gleiche „Helligkeitsstufe“ zu bringen, bringt G. LEMKE in „heterochromen Helligkeitsgleichungen“ zum Ausdruck. So ergab sich z. B. für Blau, bezogen auf Gelb mit 1990 Lux eine Intensität von 225 Lux, d. h. also das blaue Licht mußte auf $1/8$ der Intensität vermindert werden, wenn beide Spektralbezirke von etwa der gleichen Anzahl Tiere aufgesucht werden sollten. G. VIAUD (1950) konnte nachweisen, daß die Triclade *Phagocata* (= *Fonticola*) mit Hilfe des photodermalen Sinnes die Spektralbereiche von 500 nm - 400 nm und 600 nm - 500 nm flieht, während sie den Bereich von 700 nm - 600 nm bevorzugt. Der Autor fand weiterhin, daß die Bewegungsaktivität der Tricladen in den Präferenda ein Minimum aufweist. Bei *Phagocata* war die Lokomotionsgeschwindigkeit bei Bewegungen zur Lichtquelle hin am höchsten im Rot, am niedrigsten im Grün. Ähnlich reagierte *Mesostoma lingua*. Die augenlose *Castrada* zeigte ein vom Rot zum Violett besser werdendes Orientierungsvermögen. Außerdem ergab sich bei schwacher Strahlungsenergie eine im Kurzwelligen, bei starker Strahlungsenergie eine im Langwelligen schnellere Bewegung zur Lichtquelle hin. Entsprechende Reaktionen tra-

ten bei geblendeten *Phagocata* auf.

Schließlich liegen einige Arbeiten über den Einfluß der sichtbaren Strahlung auf Wachstum und Entwicklung des tierischen Organismus vor. In einem Falle wird der direkte Nachweis erbracht, daß eine Abhängigkeit der Organentwicklung von der Intensität des Stoffwechselablaufs und damit der Bewegungsaktivität besteht: E. V. SMITH (1915 -17) konnte feststellen, daß junge Lachse im Licht eine gesteigerte Aktivität aufweisen. Als Folge trat eine beschleunigte Absorption des Dottermaterials ein. Der intensivierte Stoffwechsel bewirkte nun, daß die „Hellichtiere“ gegenüber den „Dunkeltieren“ in der Entwicklung zurückblieben. Die „Dunkeltiere“ wogen um etwa 11 % mehr als die „Hellichtiere“, wobei der größte Unterschied im Wassergehalt zu verzeichnen war. Versuche mit verschiedenen Spektralbereichen wurden nicht angestellt. R. LOTZ (1957) konnte anhand statistisch fundierten Zahlenmaterials zeigen, daß das Frischgewicht von Amphibienlarven bei ansteigender Strahlungsenergie kleiner, das Trockengewicht größer wird. Weiterhin konnte er feststellen, daß der Entwicklungsprozess vom Strahlungsspektrum insofern abhängig ist (Rot - UV), als das Frischgewicht der Larven im Kurzwelligen kleiner, das Trockengewicht größer wird. Nach H.J. BALL (1958) zeigten z. B. *Blatella germanica* -Nymphen bei Einstrahlung langwelliger Bereiche anfangs normales, später gehemmtes Wachstum und schließlich kam es zum Absterben. Eine Verlängerung der täglichen Bestrahlung hatte eine Abnahme der Lebensdauer und der Gesamtgewichte zur Folge. „Dunkeltiere“ hatten nach drei Wochen ein signifikant größeres Gewicht als die „Rottiere“. R. LOTZ u. N. THIEL (1962), sowie N. THIEL (im Druck) stellten Untersuchungen über die außeroptische Wirkung der sichtbaren Strahlung auf *Tenebrio molitor* -Larven an, die zeigten, daß beim Übergang vom Dunkel zum Licht der Sauerstoffverbrauch erhöht ist. Die Reaktionsgröße ist jeweils von der vorangegangenen Adaptation abhängig. Im ganzen gesehen wirkt sich das Licht wie eine Temperaturerniedrigung auf die Entwicklung aus.

In den erwähnten Arbeiten über eine präferendale Einstellung der Tricladen auf verschiedene Spektralbereiche und über die Bewegungsaktivität ist in der Regel „gerichtetes Licht“ eingestrahlt worden, wobei die Möglichkeit einer Orientierung nach der Lichtquelle gegeben war.

Den zitierten Darstellungen fehlt häufig, abgesehen von der statistischen Bearbeitung der Versuchsergebnisse, die exakte Messung der eingestrahltten Energie und es läßt sich keine eindeutige Aussage darüber machen, inwieweit die Tiere in der Lage sind, in ihrer spektralen Zusammensetzung genau definierte und energiegleiche Gebiete der sichtbaren Strahlung zu unterscheiden. Weiterhin ist die Temperaturkonstanz während der Versuche sehr oft vernachlässigt worden, sodaß die bisher vorliegenden Ergebnisse zum Teil möglicherweise durch eine zu sehr variierende Temperatur beeinflußt worden sind.

Untersuchungen über einen eventuellen Zusammenhang zwischen spezifischer Lichtreaktion auf verschiedene Spektralbezirke und Organentwicklung sind noch nicht durchgeführt worden.

Die vorliegende Arbeit ^{*)} soll nun versuchen, am Beispiel der *Dugesia gonocéphala* (= *Planaria gonocéphala*) einige aus der Literaturübersicht resultierenden Problemstellungen zu beantworten.

Es sei vorangestellt, daß fast stets diffuses Licht eingestrahlt wird, wodurch topische Lichtreaktionen vermieden werden. Dabei wird nur die Reaktionsabhängigkeit von der Reizintensität, nicht aber von der Reizrichtung (Einstellung zur Lichtquelle) untersucht. Im einzelnen werden geprüft : Die spektrale Abhängigkeit einer Präferendumeinstellung und deren Abhängigkeit von der Bewegungsaktivität. Die Wirkung verschiedener Spektralbereiche und der Dunkelheit auf den Regenerationsprozess und schließlich die mögliche Identität der Vorzugsbereiche mit den Bereichen optimaler Regeneration.

Die Versuchstemperatur wird stets konstant gehalten.

^{*)} Für die Überlassung des Themas und für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche bin ich Herrn Privatdozent Dr. R. Lotz zu Dank verpflichtet. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. H. Giersberg und Herrn Prof. Dr. M. Lindauer für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

II. Material und Methode.

A. Tiermaterial und Tierhaltung.

Als Versuchstier dient *Dugesia gonocephala*. Die Dugesien werden einem schnellfließenden Bach in der Nähe Darmstadts entnommen, wo sie sich meist unter Steinen, Holzstücken und Blättern aufhalten.

Im Zoologischen Institut werden die Tiere in einer Glasschale gehalten, die an zwei Drahtbügeln in einem Wasserbad aufgehängt ist. Über die ganze Einrichtung wird ein schwarzer Pappkasten gestülpt, der an zwei Stellen für die Zuleitungsschläuche für Luft und Kühlwasser eingeschnitten ist. Die Einschnitte sind so groß gewählt, daß stets etwas Tageslicht bzw. das Licht einer Leuchtstoffröhre einfallen kann. Während der Sommermonate und bei gelegentlicher Überheizung des Tierhaltungsraumes im Winter wird dem Wasserbad Kühlwasser aus einer Flußwasserleitung zugeleitet, so daß die Temperatur in der Schale zu allen Jahreszeiten 16 - 21 °C beträgt. Diese Temperatur liegt zwar etwas über der Durchschnittstemperatur des Bachwassers, stellt aber eine „Voradaptation“ der Dugesien an die Versuchstemperatur dar, die in der Regel zwischen 20 und 21 °C liegen soll. Das Wasser in der Glasschale wird stets gut durchlüftet. Auf dem Boden der Schale liegen auf einer Schicht feinen Aquarienkieses mehrere Steine, die den Tieren die Möglichkeit bieten, sich, wie in der freien Natur, unter ihnen zu verbergen.

Das „abgestandene“ Leitungswasser, das für die Zucht benutzt wird, zeigt einen pH-Wert von 7,5 - 8. Das entspricht etwa den Werten, die das Bachwasser aufweist.

Die Dugesien bekommen einmal pro Woche frische Leber zu fressen. Nach der Fütterung wird das Wasser aus der Schale abgesaugt und durch neues ersetzt.

B. Versuchseinrichtungen.

Fast alle Versuche werden in einem dunklen, fensterlosen Keller-raum ausgeführt. Für die Vorversuche werden die Tiere in kleine weiße Porzellanschalen von 8 cm Durchmesser gebracht. Die Schalen sind mit ungefähr 30 cm³ Wasser gefüllt; der Abstand von der Mitte des Schalenbodens bis zur Wasseroberfläche beträgt 1,5 cm.

Die weiße Farbe der Versuchsschalen erleichtert das Beobachten der Tiere. Zum Versuchsbeginn werden die Schalen mit je 6 - 12 Tieren besetzt und in quadratische Zelluloidgefäße gebracht, deren Boden perforiert ist. Es handelt sich um die gleichen Gefäße, die bereits R. LOTZ (1957) für die Untersuchungen über „Entwicklung und Wachstum von Amphibienlarven in ihrer Abhängigkeit von der optischen Strahlung“ angewandt hat. Die Zelluloidgefäße sind an einem Holzgestell, das einem großen Aquarium aufliegt, aufgehängt und tauchen etwa bis zur Hälfte ins Wasser ein, das durch den perforierten Boden eindringen kann. In diesen Zelluloidgefäßen schwimmen die Porzellanschalen (S. Abb. 1). Das Wasserbad wird mit Hilfe eines Rühr- und Heizgerätes, das an eine Relaischaltung angeschlossen ist, auf einer Temperatur von $20,6^{\circ}\text{C}$ ($+ 0,5^{\circ}\text{C}$ / $- 0,1^{\circ}\text{C}$) gehalten. Liegt die Raumtemperatur über 20°C , so wird das Kühlwasser (Leitungswasser) durch eine Kühlschlange geleitet, die den Wänden des Aquariums anliegt. Für die Versuche zum präferendalen Verhalten bei der Wahl zwischen 2 oder mehr Spektralbereichen und z. T. auch für die Untersuchungen zur Augenregeneration, kommen rechteckige Flexiglasschalen in Anwendung, deren Boden und Wände mit weißem Papier bespannt sind. (S. Abb. 2 u. 3). Auf die Schalen können je zwei Schott-FarbfILTERGLÄSER von der Größe $10 \times 10 \text{ cm}$ paßgerecht nebeneinander gelegt werden, bei den „Vierlichtversuchen“ entsprechend vier Filter der gleichen Größe. In der Mitte der Schalen, wo die Filter aneinandergrenzen, befinden sich schwarze Zelluloidstreifen, die vom oberen Rand der Schalen bis fast zur Wasseroberfläche reichen. Sie dienen dazu, zwei Spektren, bzw. vier Spektren soweit als möglich gegeneinander abzuschirmen. Zu den Versuchen werden die Schalen mit Wasser bis zu einer Höhe von $1,5 \text{ cm}$ aufgefüllt und mit Hilfe einer Haltevorrichtung in ein Wasserbad (Aquarium) gestellt (S. Abb. 4). Das Wasserbad wird bei diesen Versuchen mit einer Aquarienheizung, die an ein Relais angeschlossen ist, auf einer Temperatur von $20,7^{\circ}\text{C}$ ($+ 0,4^{\circ}\text{C}$ / $- 0,1^{\circ}\text{C}$) gehalten. Eine Durchlüftungsvorrichtung schafft eine gute Wasserzirkulation. Als Strahlungsquellen dienen hauptsächlich Glühlampen mit einer Leistung von $15 - 500 \text{ Watt}$. Die Spannungsschwankungen im 220-Volt - Lichtnetz betragen $+4\%$ / $- 1\%$. In einigen Vorversuchen kommt eine Osram - Ultravitaluxlampe zur

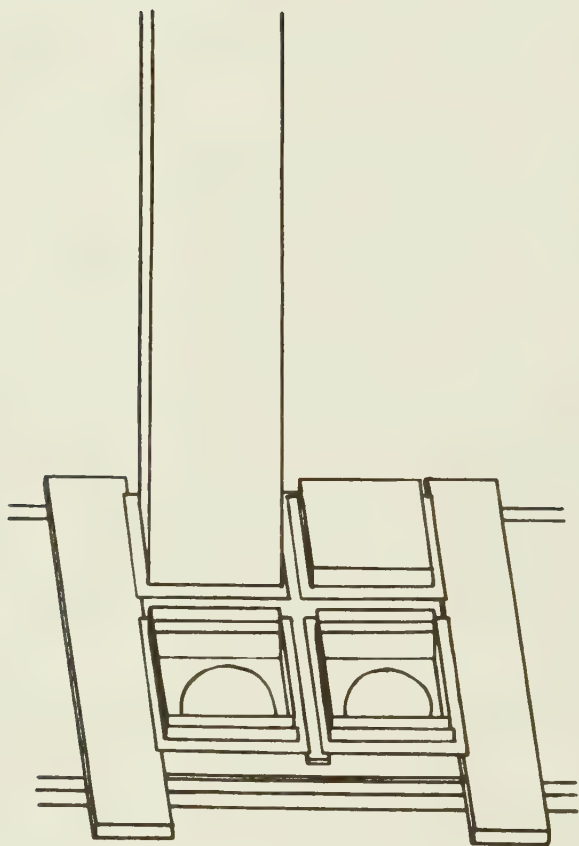


Abb. 1. Versuchsvorrichtung für Vorversuche.

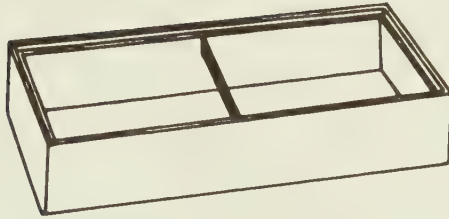


Abb. 2. Versuchsschale für den
„Zweilichtversuch.“

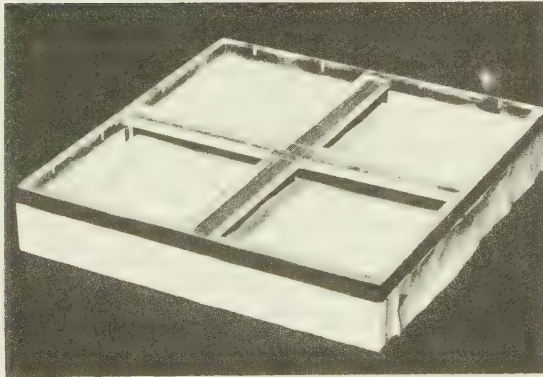


Abb. 3. Versuchsschale für den
„Vierlichtversuch.“

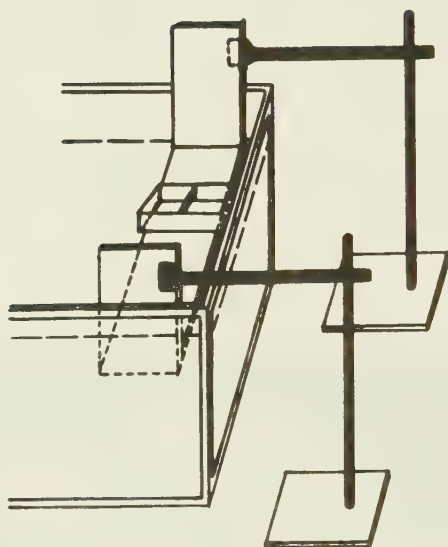


Abb. 4. Anordnung der Schale für den
„Zweilichtversuch“ im Wasserbad.

Anwendung (K. LARCHE, 1942). Als StrahlungsfILTER werden die Schott - Farbfiltergläser benutzt. Später kommen dazu noch Metallinterferenzfilter von Schott / Jena. In diesem Fall werden die Filter dann nicht den Schalen aufgelegt, sondern unmittelbar unter der Lichtquelle angebracht. So wird erreicht, daß der Einfallswinkel der Strahlung innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen für die Interferenzfilter bleibt. Bezüglich der energetischen Abgleichung soll später noch einmal Stellung genommen werden. Sollen die verschiedenen Spektralbereiche auf gleiche Strahlungsenergie gebracht werden, so geschieht dies durch Pergamentpapierscheiben, die unter bzw. über die Filter gelegt werden. So entsteht ein praktisch homogen ausgeleuchtetes Bestrahlungsfeld (vgl. W. THIEMANN, 1957/58). Zum Teil wird auch zu dem gleichen Zweck der Lampenabstand vom Objekt variiert. Soweit sich durch die Papierscheiben leichte Änderungen des Spektrums ergeben, werden sie mit berücksichtigt (s. u.). Zur Frage, inwieweit es bei den Strahlungseinwirkungen auf biologische Objekte sinnvoller ist, die Quantenzahl oder die Strahlungsenergie konstant zu halten, läßt sich nur dann endgültig entscheiden, wenn man den Wirkungsmechanismus schon bereits weitgehend analysiert hat. Im vorliegenden Fall erschien es uns zunächst zweckmäßiger, die Strahlungsenergie konstant zu halten, da es sich aufgrund unserer Erfahrungen bei den geschilderten Versuchen sicherlich nicht um spezifische quantenabhängige Reaktionen handelt. Um im Verlauf der Untersuchungen eine gegenseitige Störung der einzelnen Lampen weitgehend auszuschließen, werden diese in lichtdichte, schwarze Kästen gehängt und auf die Filter aufgesetzt. Bei den „Zweilichtversuchen“, d. h. bei den Versuchen mit zwei nebeneinanderliegenden Farbfiltern oder Interferenzfiltern, werden beide Lampen in einem Kasten aufgehängt und durch eine schwarze Wand voneinander getrennt. Beim „Vierlichtversuch“ hängen entsprechend 4 Lampen in einem Kasten, die wiederum jeweils durch eine schwarze Trennwand gegeneinander abgeschirmt sind. Beim Licht-/ Dunkel - Versuch schließlich steht auf dem Farbfilter ein langer schwarzer Pappkasten von 10 x 10 cm Grundfläche und 70 cm Höhe, in dem die Lampe angebracht ist. Das „Dunkelquadrat“ der Schale ist mit einem Glasdeckel versehen, der mit schwarzer Pappe beklebt wird. Zu allen Versuchen wird eine schwarze Manschette um

die Plexiglasschalen gelegt. Versuche mit der 500-Watt - bzw. Ultravitalux - Lampe erfolgen stets in der Weise, daß jeweils nur eine Lampe in Betrieb ist. Die Lampen können infolge ihrer sehr starken Wärmeentwicklung nicht in Lichtkästen eingebaut werden. Kommen 40-, 60- oder 100-Watt - Lampen in Anwendung, werden die Pappkästen mit kleinen Entlüftungsschlitzen versehen, welche die heiße Luft nach oben entweichen lassen.

Die für die Untersuchungen über die Regeneration des Hautlichtsinnes sowie für die Ermittlung der Lokomotionsgeschwindigkeit abgeänderten Versuchsanordnungen sollen in den jeweiligen Kapiteln besprochen werden.

C. Transmission und Absorption der Filter und des Wassers, sowie Absolutwerte und energetische Anpassung der Strahlung.

Die Durchlässigkeit der Filter ließ sich mit Hilfe eines Zeiss - Spektralphotometers bestimmen, und zwar bis zur Wellenlänge 1000 nm. Der Durchlässigkeitsgrad der Schott - Farbfiltergläser bleibt nach eigener Messung in den meisten Fällen von 700 nm - 1000 nm konstant; nach Angaben von Schott soll dies auch darüber hinaus der Fall sein. Abb. 5 zeigt die Durchlässigkeit für die einzelnen Wellenlängen der in den Hauptversuchen angewandten Farbfiltergläser. Die Durchlässigkeitswerte für die Metallinterferenzfilter werden in der Weise gefunden, daß in jedem Falle mehrere Werte um die Wellenlänge der größten Durchlässigkeit,

max, (nach Angaben von Schott / Jena) zusätzlich ermittelt werden. Abb. 6 stellt die Durchlässigkeit von 6 Metallinterferenzfiltern dar. Das dünne Pergamentpapier ist kein sogen. Graufilter im eigentlichen Sinne, sondern zeigt eine vom Langwelligen zum Kurzwelligen hin langsam steigende Reflexion der Strahlung, d. h. es ist für langwellige Spektralbereiche durchlässiger. Bei der Anpassung der einzelnen Filter- / Papierkombinationen wird ein entsprechender Korrektur eingesetzt.

Die Infrarotabsorption des Wassers konnte mit freundlicher Unterstützung von Herrn Prof. Dr. Czerny am Physikalischen Institut der Universität durchgeführt werden.^{*)} Abb. 7 zeigt die IR -

^{*)} An dieser Stelle sei Herrn Prof. Dr. Czerny (Physikalisches Institut der Universität) nochmals bestens für sein Entgegenkommen gedankt.

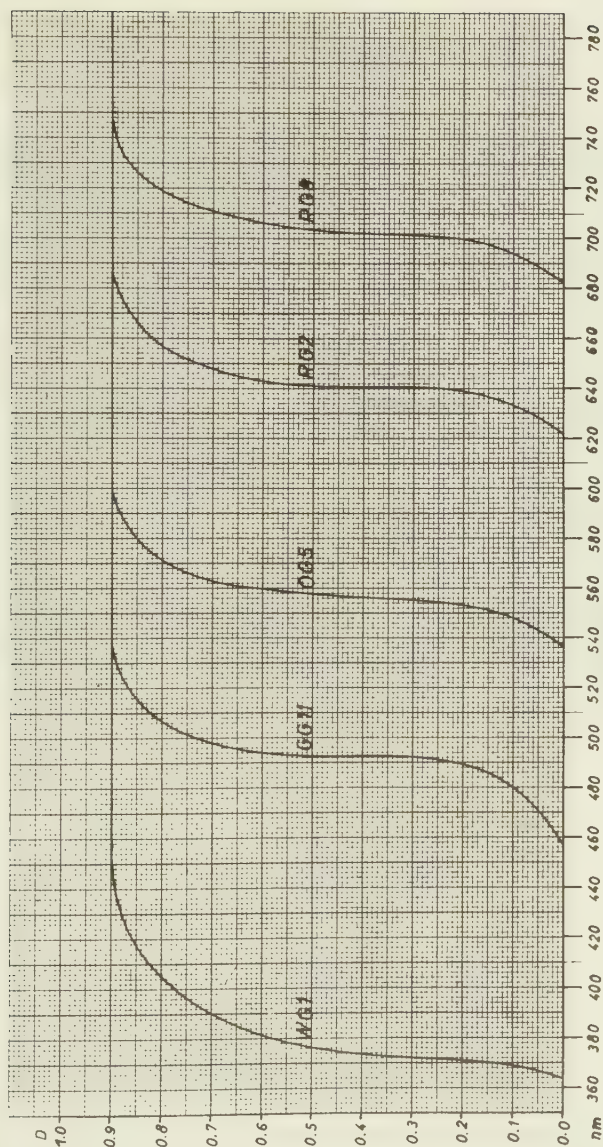


Abb. 5. Durchlässigkeit D der Farbfiltergläser für die Wellenlängen 360 nm - 780 nm.

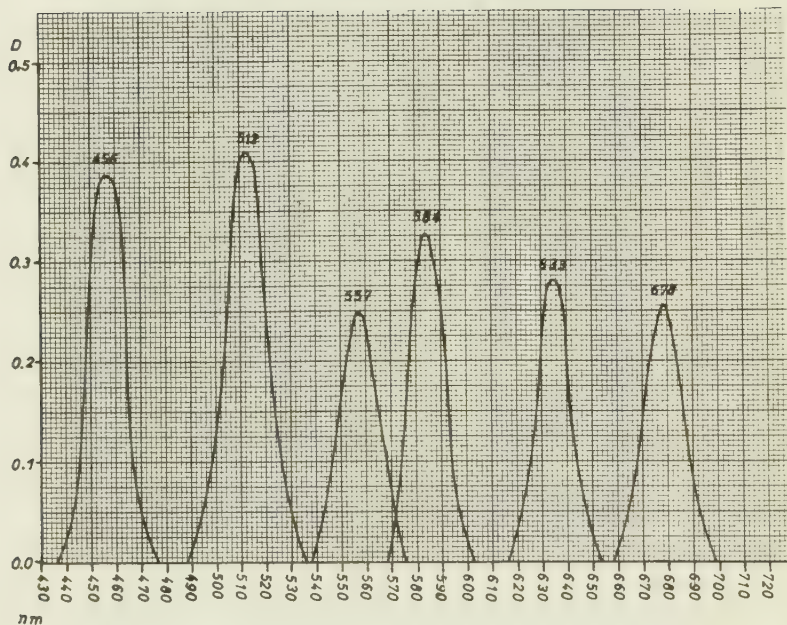


Abb. 6. Durchlässigkeit der Metallinterferenzfilter.
Die Zahlen an den Kurvengipfeln bezeichnen
die Maxima ($\lambda_{\max}$).

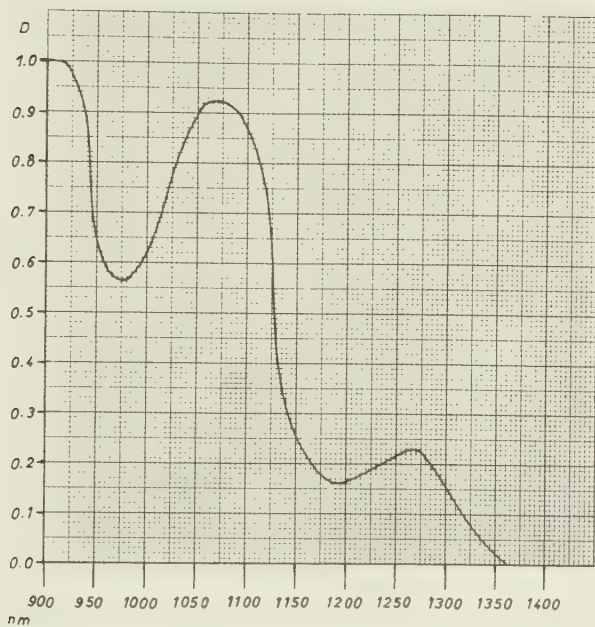


Abb. 7. IR - Durchlässigkeit einer 1,5 cm hohen Wasserschicht.

Absorption einer 1,5 cm hohen Wasserschicht. Wie die Kurve erkennen läßt, wird jenseits von 1350 nm praktisch alles IR absorbiert.

Die Werte der relativen Energieverteilung der Glühlampen sind ebenfalls am Physikalischen Institut der Universität mit Hilfe eines Glühfadenpyrometers ermittelt worden. S. Anm. Seite 14. Abb. 8 stellt die Kurven der relativen Energieverteilung einer 500-Watt - Lampe, einer 25- bzw. 15-Watt - Lampe dar. (Die Energieverteilung der 25-Watt - Lampe ist die gleiche wie bei der 15-Watt - Lampe.) Es ist daraus zu ersehen, daß sich das Spektrum der 500-Watt - Lampe noch über das gesamte UV-A erstreckt. Da die Glühfadentemperatur der 500-Watt - Lampe höher liegt als die der 25- bzw. 15-Watt - Lampe (~ 2900 °K zu ~ 2300 °K), liegt nach dem Wien'schen Spektralverschiebungssatz das Maximum der Lampe mit der stärkeren Strahlungsenergie im IR weiter nach der kurzwelligen Seite hin.

Unter Berücksichtigung der Filterdurchlässigkeit, der Durchlässigkeit des Papiers, der Infrarotabsorption des Wassers und der relativen Energieverteilung der Glühlampenspektren ist es möglich, durch Multiplikation der einzelnen Faktoren die Werte für die spektralen Strahlungskurven für die Versuchsreihen festzulegen.

Bei der Messung der Absolutwerte (und zur energetischen Anpassung) dient eine Thermosäule als Strahlungsempfänger, die von der Physikalischen Bundesanstalt in Braunschweig geeicht worden ist. Das Anzeigegerät ist ein geeichtes Galvanometer. Unmittelbar vor der Thermosäule steht eine wassergefüllte Quarzküvette zur IR-Absorption. Die Wasserschicht ist, wie in den Versuchen, 1,5 cm breit. Zwischen Lichtquelle und Küvette befinden sich, wie in der Versuchsanordnung, die Farb- bzw. Interferenzfilter und das Papier. Es ergibt sich, daß die sehr schwachen Strahlungsenergien, wie sie z. T. in den Versuchen benutzt werden, mit der beschriebenen Vorrichtung nicht mehr messbar sind. Durch graphische Auswertung können dafür Näherungswerte gefunden werden.

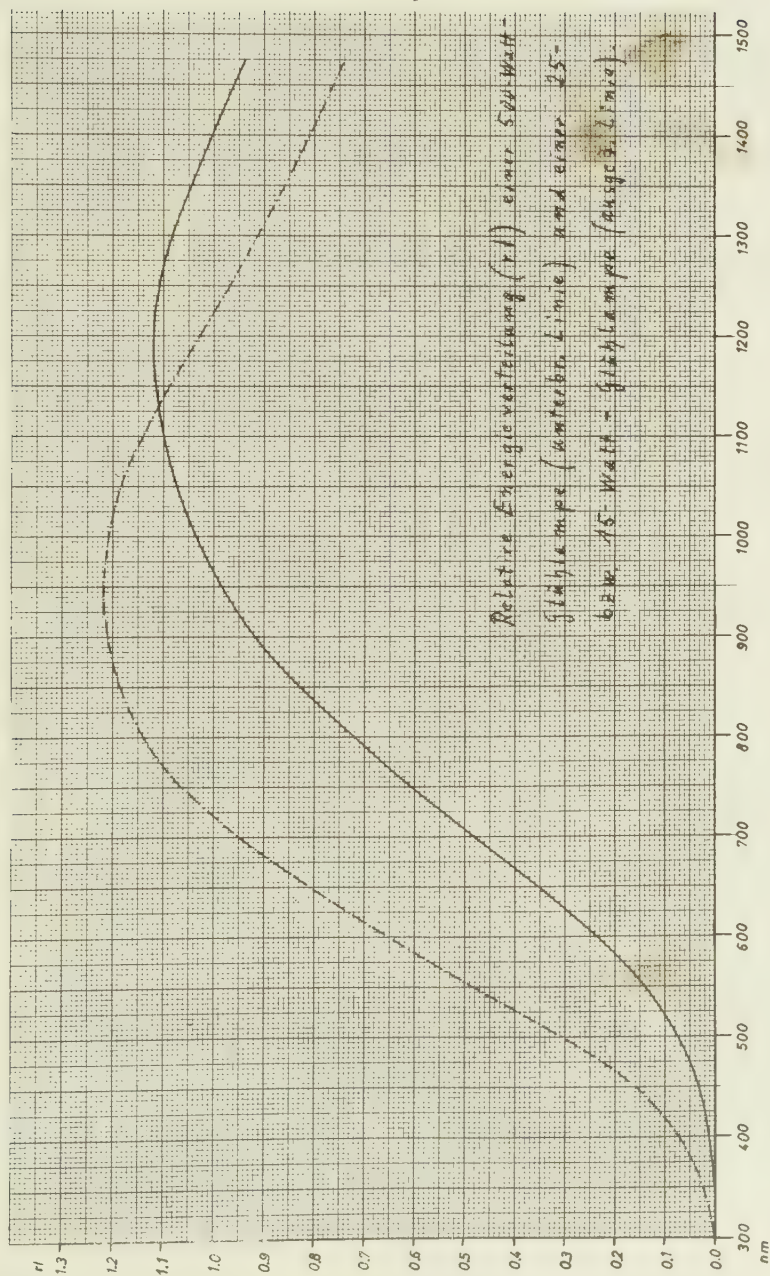


Abb. 8.

D. Histologische Prüfung.

Zur histologischen Untersuchung einiger lichtgeschädigter bzw. regenerierender Dugesien kommen die Tiere zum Abtöten und Fixieren in eine HgCl_2 -NaCl-Formol - Lösung. Die Färbung der 7 - 10 μ starken Paraffinschnitte erfolgt mit Hämalaun oder Kernechtrot als „basischen“ und Molybdänblau oder Anilinblau- Orange G als „sauren“ Farbstoffen.

E. Statistische Bearbeitung der Versuchsergebnisse.

Die für den „Zweilichtversuch“ zu prüfende Hypothese heißt $H_0 = \mu = \mu_0$, d. h. es wird eine Verteilung von 16 / 16 Tieren angenommen. Zur Prüfung der Signifikanz der beiden Mittelwerte wird der Student'sche „t - Test“ für gepaarte Stichproben benutzt.

Er berechnet sich zu $t = \frac{(\bar{x} - \frac{a}{2}) \sqrt{n}}{s}$, unter Berücksichtigung der mittleren Abweichung s, die sich errechnet aus $\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$ (bei n-1 Freiheitsgraden); z = Anzahl der Tiere, $\sum x_j$ = Anzahl der Versuche. Die H_0 - Hypothese wird abgelehnt, d. h. es liegen dann signifikante Unterschiede vor, wenn $t >$ Tabellenwert t_{α} , bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 1\%$. Darüber hinaus wird z. T. der reihenweise Vergleich von Einzelergebnissen unter Berechnung von $P_{bin} = \frac{1}{2^z} \cdot \sum_{\lambda} \leq x_j \left(\frac{z}{\lambda} \right)$ durchgeführt (vgl. Tabelle 2).

Der Vergleich der Mittelwerte aus den verschiedenen Versuchsreihen erfolgt mit dem „t - Test“ für ungepaarte Stichproben unter Anwendung der „3 σ - Regel“. Dabei grenzt der 3-fache Wert des mittleren Fehlers σ_M den Fehlerbereich nach oben und unten ab. Signifikanz liegt vor, wenn die Differenz der beiden Werte (ΔM) größer ist als das 3-fache des mittleren Fehlers der Differenz. Da es sich durchweg um kleine n handelt, ist σ_{Diff} mit einem Faktor $t > 3$ zu multiplizieren (F.G. = $n_1 + n_2 - 2$; Signifikanzniveau 0,27 %).

Die Verteilung der Tiere im Vierlichtversuch erfordert einen

+) An dieser Stelle möchte ich Frau Prof. Dr. Geppert für das Entgegenkommen und die Unterstützung bei der statistischen Auswertung nochmals bestens danken.

zeilenweisen und globalen Vergleich mit dem χ^2 - Test für Multinomialverteilung, da es sich auch hier um gepaarte und abhängige Stichproben handelt. Geprüft wird dann die Hypothese $H_0 = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 1/4$.

Der Mittelwertvergleich aus den Regenerationsversuchen läßt eine Homogenitätsprüfung und Anwendung χ^2 - Tests zu, unter jeweiliger Benutzung des doppelt additiven Vierfelderschemas.

III. Experimenteller Teil.

A. Orientierende Vorversuche.

Zunächst sollen einige Vorversuche die günstigsten experimentellen Bedingungen in Bezug auf die physiologische Toleranz ganzer und dekapitierter Dugesien klären, und zwar hinsichtlich der verschiedenen Spektren, der Lichtenergie und der Dunkelheit, sowie der Temperatur.

1. Der Einfluß von Licht.

a. Ganze Tiere.

Die Versuchstiere, die mehrere Tage lang dem gesamten Spektrum schwacher Glühlampen (von etwa 10 - 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) ausgesetzt sind, lassen nach Abschluß der Versuche keine äußerlichen Veränderungen erkennen. Wird *Dugesia gonocepala* jedoch dem gesamten Spektrum einer 500-Watt - Glühlampe ausgesetzt (30 cm Abstand, 11 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), so treten in vielen Fällen schon makroskopisch erkennbare Veränderungen der Gewebe und schließlich Zerfallerscheinungen ein. Bei allen Versuchen mit 11 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ beträgt die Temperatur in den Gefäßen 20,8 °C (+ 0,4 °C / - 0,1 °C).

Ein Versuch sei als Beispiel angegeben : 12 Tiere (2 große, 6 mittelgroße, 4 kleine) werden 100 Stunden lang bestrahlt. Wie bei den Kontrollen zu beobachten ist, bewegen sich anfangs alle Dugesien rasch und häufig, später weniger rasch und seltener. Nach 45 Stunden fallen bei zwei kleinen Tieren und einem mittelgroßen Tier erste Anzeichen eines Zerfalls am Schwanzende auf; nach 49 Stunden ist ein kleines Tier abgestorben, ein weiteres nach 69 Stunden, das dritte zeigt zu diesem Zeitpunkt sehr star-

ken Zerfall. Nach 93 Stunden leben noch die zwei großen Dugesien, 5 von den 6 mittelgroßen und eines von den 4 kleinen Tieren. Ein mittelgroßes und das restliche kleine Tier sind bereits im Absterben. Nach 100 Stunden schließlich weisen weitere drei mittelgroße Dugesien Zerfallserscheinungen auf. Alle noch lebenden Exemplare lassen eine ungleichmäßige Pigmentverteilung erkennen und haben ein fleckiges Aussehen („Pigmentfleckigkeit“). Die Pigmentkörner sind zu großen Konglomeraten zusammengedrängt. Auch in den Bestrahlungsversuchen mit UV-reichem Licht (Osram - Ultravitaluxlampe) kann nach kurzer Zeit bei *Dugesia gonocephal*a eine „Pigmentfleckigkeit“ erzielt werden. Zum Vergleich sei angeführt, daß an Dugesien, die der Dunkelheit ausgesetzt worden sind, manchmal eine, wenn auch nur schwache, „Pigmentfleckigkeit“ beobachtet werden kann.

Werden normale *Dugesia gonocephal*a mechanisch gereizt, z. B. mit einem Stab berührt, kommt es zu einer vermehrten Schleimabsonderung. Das ist nicht der Fall bei solchen Dugesien, die 100 Stunden lang mit weniger als $11\,000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ bestrahlt worden sind und noch keine äußerlich erkennbaren Zerfallserscheinungen aufweisen. Sie quellen an den Seitenrändern stark auf und liegen zusammengekrümmt am Boden der Schale, wenn man sie mit einer Sonde aus dem Wasser herausnimmt und darauf wieder hineinlegt. Dabei wird nur eine sehr geringe Menge dünnen Schleimes abgesondert.

Eine auffällige Erscheinung, die bei Bestrahlungen mit der 500-Watt - Lampe auftritt, ist die Reduktion von Organen. Die von F. STOPPENBRINK (1905) und J. BERNINGER (1911) an „hungernenden“ und von P. LANG (1912) und P. STEINMANN (1926) an regenerierenden Tricladen gemachten Beobachtungen können auch an den bestrahlten Dugesien bestätigt werden. Manche Tiere zeigen nach langer Strahlungseinwirkung (100 Stunden, meist etwa $6000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$) eine Reduktion der Augenpigmentbecher. Neben diesen augenlosen Dugesien werden dann und wann Exemplare angetroffen, bei denen fast der ganze Kopfabschnitt verschwunden ist. Zu Pigmentkugeln „zusammengeschmolzenes“ Körperpigment (d. h. die eingangs erwähnten Pigmentansammlungen) und das Augenpigment dringen in das Darmsystem ein, um dort resorbiert zu werden (P. LANG, 1912). Auch Rhabdite dringen in den Darm ein, wie schon P. LANG (1912) beobachten konnte.

In weiteren Versuchen wird der Einfluß verschiedener Spektralbereiche auf die Dugesien untersucht. Unter Anwendung der Schott-FarbfILTERGLÄSER GG13 und GG11 wird jeweils ein kurzwelliger Anteil der Strahlung abgeschnitten (Abb. 9). Die Temperatur beträgt bei den Filterversuchen in den Schalen $20,9^{\circ}\text{C} + 0,3^{\circ}\text{C} / - 0,1^{\circ}\text{C}$ (bei Gesamtspektrum $20,8^{\circ}\text{C} + 0,4^{\circ}\text{C} / - 0,1^{\circ}\text{C}$). Nach Vorschalten des Schott-Filters GG13 treten nach 100-stündiger Bestrahlung ähnliche Merkmale wie bei der Einstrahlung des Gesamtspektrums der 500-Watt - Lampe auf, doch in abgeschwächter Form.

Nach Vorschalten des Farbfilters GG11 (energetische Abgleichung auf das Gesamtspektrum) sind nach 100-stündiger Bestrahlung „Pigmentfleckigkeit“, Reduktionen und Gewebszerfall nur noch in geringem Maße zu beobachten.

Vorschalten der - wiederum auf die Strahlungsenergie des Gesamtspektrums abgeglichenen - FarbfILTER RG2 und RG8, die nur für Rot und Infrarot durchlässig sind (Abb. 9), hat nach langer Bestrahlungsdauer keinen schädigenden Einfluß auf die Dugesien erkennen lassen.

b. Dekapitierte Dugesia gonocephal.

Im folgenden wird der Einfluß des Glühlampenspektrums auf solche Tiere untersucht, die dicht hinter den Aurikeln dekapitiert worden sind, sodaß also die Augen und der größte Teil des Cerebralganglions wegfallen. Auch diese Dugesien vertragen besser das Glühlampenlicht niederer Energie als die hohe Energie der 500-Watt - Lampe (gleiche Bedingungen wie bei den Ganztieren). Aber auch hier treten, allerdings erst nach 145 Stunden, bei den bereits weitgehend regenerierten Dugesien Zerfallerscheinungen auf, also ungefähr 4 Tage später als bei den intakten Tieren. Bei den regenerierenden Dugesien reagieren die kleinen Tiere wesentlich stärker auf den optischen Reiz als die großen. Es kann weiterhin festgestellt werden, daß die regenerierten Köpfe kleiner Dugesien später z. T. wieder reduziert werden.

2. Der Einfluß von Dunkelheit.

Ganze und dekapitierte Dugesien zeigen nach 100-stündiger Einwirkung der Dunkelheit zwar eine geringe „Pigmentfleckigkeit“, aber keine Zerfallerscheinungen. In einigen Fällen liegen kleine Tiere zusammengekrümmt am Boden der Schale. Bei Berührung der

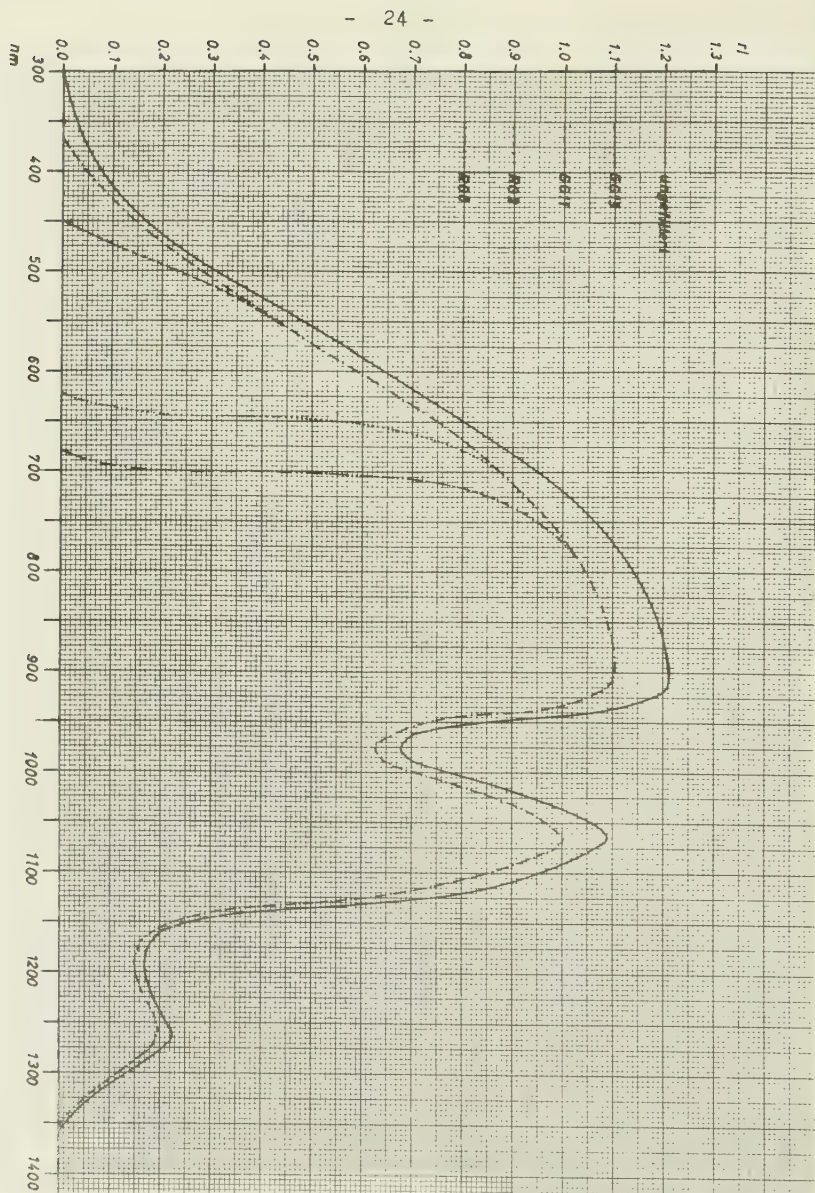


Abb. 9. Strahlung des ungefilterten Glühlampenlichtes (500 Watt) sowie des durch verschiedene Farbfilter begrenzten Lichtes, unter Berücksichtigung der IR - Absorption des Wassers.

Tiere kommt es zu einer geringen Schleimsekretion. In mikroskopischen Präparaten sind auch hier Rhabditen- und Pigmenteinschlüsse deutlich zu sehen.

Werden die vorderen Hälften („Vordertiere“) und die hinteren Hälften („Hintertiere“), d. h. in Höhe des Pharynx quer geteilte Dugesien, etwa 100 Stunden lang der Dunkelheit ausgesetzt, so stellt sich heraus, daß die „Hintertiere“ alle leben, die „Vordertiere“ hingegen zu einem geringen Teil abgestorben sind. Es sei ein Versuch als Beispiel angeführt: Es werden je 6 „Vordertiere“ und „Hintertiere“ der Dunkelheit ausgesetzt (2 große, 2 mittelgroße und 2 kleine). Nach 26 Stunden sind bereits ein mittelgroßes und ein kleines „Vordertier“ abgestorben, die „Hintertiere“ leben zu diesem Zeitpunkt noch alle. Nach 125 Stunden leben noch alle 6 „Hintertiere“ und die 2 großen „Vordertiere“, sowie ein mittelgroßes „Vordertier“. Ein kleines „Vordertier“ zeigt starke Zerfallerscheinungen. Die Temperatur beträgt bei diesen Versuchen in den Versuchsschalen $21,0^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. (In Kontrollversuchen mit „Vorder-“ und „Hintertieren“, die der Strahlungsenergie von $11\,000\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ausgesetzt werden, ist ebenfalls eine größere Sterblichkeit der „Vordertiere“ zu verzeichnen, die aber wesentlich höher als die Sterberate der Dunkel-„Vordertiere“ liegt). Zusammenfassend gibt die Tabelle 1 einen Überblick über die Sterberate ganzer, dekapitierter und geteilter Dugesien nach 100-stündiger unterschiedlicher Behandlung.

3. Temperatur.

Was die optimale Temperatur anbelangt, so erweisen sich $20,6^{\circ}\text{C}$ als am günstigsten. Oberhalb dieser Temperatur wird allmählich die obere Grenze der Temperaturtoleranz erreicht (vgl. I. BLÄSING, 1953). Unterhalb von $20,6^{\circ}\text{C}$ geht, wie einige orientierende Versuche andeuten, die Regeneration der Dugesien sehr langsam vonstatten; so wurde bei einer Temperatur von nur 16°C die Augenregeneration um fast 24 Stunden verzögert.

Die vorangegangenen Vorversuche haben zunächst die Voraussetzungen für eine günstige Ausrichtung der Hauptversuche, insbesondere über den Einfluß des optischen Spektrums auf die Regeneration, geschaffen.

Behandlung	Sterberate		
	ganze Tiere	dekapitierte Tiere und „Hintertiere“	„Vordertiere“
Dunkelheit	0	0	klein
schwaches Glühlampen- licht	0	0	sehr klein
500-Watt - Glühlampe	klein	0	groß

Tabelle 1.

Sterberate der *Dugesia gonocephala*
nach 100 Stunden.

B. Spektrale und energetische Abhängigkeit der Präferendumeinstellung.

Bei der Durchführung der im folgenden beschriebenen Versuchsreihen werden zunächst 2 oder 4 größere Spektralbereiche gleicher Energie, die sich in ihren Grenzwellenlängen im Kurzwelligen unterscheiden, zur Wahl gestellt (die Durchlässigkeitskurven sind in Abb. 5, Seite 15 dargestellt). Es soll dabei nicht nur festgestellt werden, wie sich die einzelnen Bereiche in ihren physiologischen Reizgrößen gegenüber verhalten, sondern vor allem auch, ob sich in einem bestimmten Gebiet ein „Optimum“ der präferendalen Einstellung abzeichnet. Daran anschließend wird untersucht, wie sich eine Verminderung der Strahlungsenergie auf einer Seite oder auf beiden Seiten auf die Verteilung der Dugesien auswirkt und weiterhin, wie die Tiere reagieren, wenn die Dunkelheit den Spektralbereichen mit der „Ausgangsenergie“ gegenübersteht. Schließlich sollen zu den Versuchen mit Farbfiltergläsern einige vergleichende Untersuchungen mit Metallinterferenzfiltern mit fast monochromatischer Strahlung angestellt werden.

Es werden 65 Versuchsreihen mit insgesamt 21120 Dugesien durchgeführt; eine Versuchsreihe umfaßt jeweils 10 Einzelversuche mit je 32 Tieren beim „Zweilicht“-Versuch und je 64 Tieren beim „Vierlicht“-Versuch.

Die Wassertemperatur in den Schalen beträgt 20,7 °C (+ 0,3 / - 0,1 °C).

4. Spektrale Abhängigkeit. Versuche mit Farbfiltergläsern.

Den Ergebnissen aus den orientierenden Versuchen folgend, werden die *Dugesia gonocephal*a in jeder Schalenhälfte bzw. jedem Schalenviertel mit einer Energie von 71 μ W/cm² bestrahlt.

a. Zweilichtversuche.

Es wird zunächst untersucht, welcher von zwei zur Wahl gestellten Spektralbereichen bevorzugt wird. Werden die Tiere in eine Plexiglasschale ausgesetzt, die mit den Farbfiltern RG2 und OG5 bedeckt werden (spektrale Strahlungskurven in Abb. 10), so befinden sich nach 2 Stunden von 32 Dugesien im Durchschnitt aus 10 Einzelversuchen 27,1 Tiere im roten und 4,9 Tiere im orangefarbenen Licht (Tabelle 2). Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind

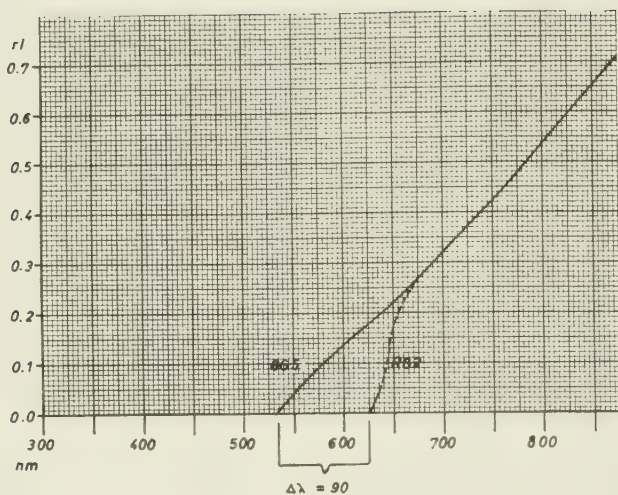


Abb. 10. Spektrale Strahlung für RG2- und OG5-Filter, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Absorption durch das Wasser und das Dämpfungspapier.

Bei allen folgenden spektralen Strahlungskurven werden diese Faktoren stets mit einbezogen.

rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

die Mittelwerte voneinander signifikant verschieden. Die Dugesien sitzen meist unbeweglich am Boden der Schale, und zwar fast immer an der Peripherie der Bestrahlungsfelder, d. h. nahe den Schalenwänden. Manche Tiere haften sogar an den Wänden, offensichtlich deshalb, um durch die senkrechte Körperhaltung dem einfallenden Licht eine kleinere Oberfläche zu bieten und um auf diese Weise weniger von der Strahlung getroffen zu werden. Häufig beginnen die Tiere, kurz nach dem Abnehmen der Filter von den Schalen, lebhaft zu kriechen. Das hat einmal seinen Grund in der unvermeidlichen mechanischen Erschütterung der Versuchseinrichtung während der Kontrollen, dann aber wohl auch in dem plötzlichen Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse, wenn statt des gefilterten Glühlampenlichtes die tageslichtähnliche Strahlung der im Versuchsraum beim Beobachten der Tiere brennenden Leuchtstoffröhren auf die Schalen trifft.

Eine weitere Versuchsreihe soll klären, ob eine Verkürzung der Versuchsdauer zu gleichen Ergebnissen führt. Es stellt sich dabei heraus, daß nach einer Stunde praktisch schon das gleiche Ergebnis vorliegt (Tabelle 3, Abb. 11, E). Während beim 2-Stunden-Versuch im Durchschnitt 27,1 Tiere das OG5-Licht meiden und sich ins RG2-Licht begeben, sind es beim 1-Stunden-Versuch im Durchschnitt 26,8 Tiere. Bei noch kürzeren Versuchszeiten ergeben sich sehr große Streuungen um den Mittelwert. Nach Beendigung der Versuche werden die Dugesien wieder in das Halteaquarium zurückgegeben.

Werden die Dugesien nach Abschluß eines Versuches in der Schale belassen und wird diese mit einem schwarzen Papier abgedeckt, sodaß kein Licht mehr hineinfällt, kann nach etwa einer Stunde der Bestrahlungsversuch wiederholt werden, ohne daß sich wesentlich abweichende Mittelwerte ergeben. Die einstündige Dunkeladaptation der aus dem Versuch genommenen Tiere bedingt also keine abweichende Verteilung.

In der nächsten Versuchsreihe werden durch RG8 und RG2 gefilterte Strahlungen zur Wahl gestellt (S. Abb. 12). Es zeigt sich nun, daß sich nach einer Stunde im Durchschnitt aus 10 Versuchen 9,4 Dugesien unter dem RG8 - Filter und 22,6 Tiere unter dem RG2-Filter aufhalten (Tabelle 4, Abb. 11, A). Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Versuchen wird hier nicht das Licht mit den kurzwelligeren Anteilen gemieden, sondern die langwelligere

j	x_j	y_j	$P_{bin.} = \frac{1}{2^z} \cdot \sum_{\lambda} \leq x_j \binom{z}{\lambda}$
1	25	7	0,0010512
2	28	4	0,0000097
3	29	3	0,0000013
4	29	3	0,0000013
5	29	3	0,0000013
6	26	6	0,0002675
7	26	6	0,0002675
8	29	3	0,0000013
9	24	8	0,0035002
10	26	6	0,0002675
$\bar{x}$	27,1		
$\bar{y}$		4,9	
s	1,91		
t	19,688		
t_d	3,25		

Tabelle 2. Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen RG2- u. OG5-Licht. Strahlungsenergie $I = 71$ $\mu W/cm^2$. „Zweistundenversuch“.

	RG2	OG5
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	28,4	3,6
s	1,81	
t	18,806	

Tabelle 3. +)

Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen RG2- u. OG5-Licht. $I = 71$ $\mu W/cm^2$. „Einsundenversuch“.

+) Im folgenden werden in der Regel nur die Mittelwerte $\bar{x}$ bzw. $\bar{y}$ angegeben. Signifikanzniveau = 1 %; $t_d = 3,25$. In der 2. Spalte steht jeweils die Strahlungsenergie in $\mu W/cm^2$.

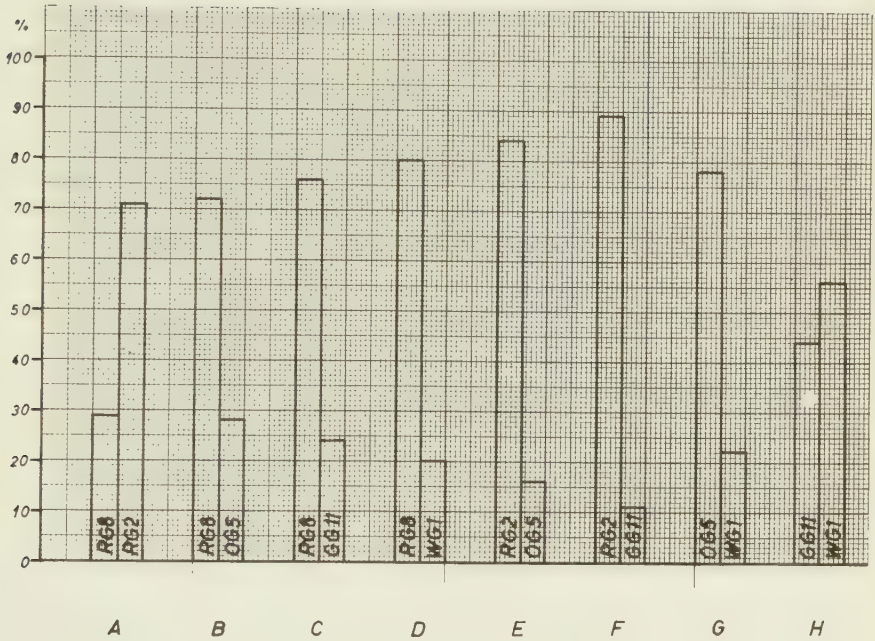


Abb. 11. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocephala* bei Gegenüberstellung von jeweils 2 Spektralbereichen.
Strahlungsenergie $I = 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

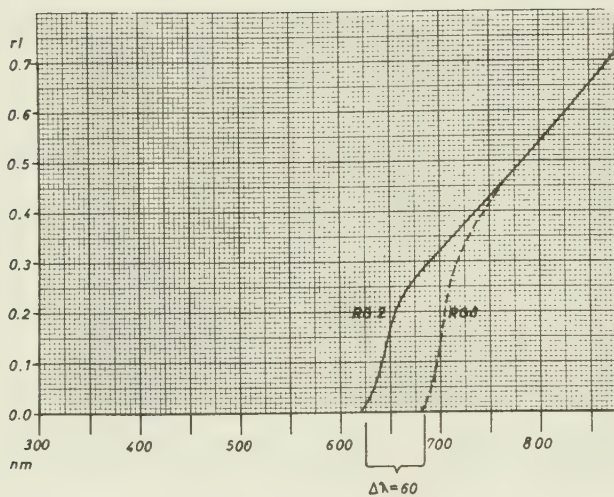


Abb. 12. Spektrale Strahlung für RG8- und RG2-Filter.
 rI = relative Intensität,
 $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

Strahlung. Im Bereich des RG2-gefilterten Lichtes zeichnet sich also eine Umkehr der Präferenzumeinstellung ab. In weiteren analysierenden Untersuchungen soll geprüft werden, ob sich ein möglichst enger Spektralbereich im Rot oder nahen IR als „Wendepunkt“ einer Reaktion festlegen läßt.

RG8- und OG5-Licht werden bei Gegenüberstellung von RG2-Licht gemieden, und zwar OG5-Licht noch mehr als RG8-Licht. Der für das RG8-Spektrum gefundene Mittelwert der Verteilung von 9,4 ist von dem entsprechenden Mittelwert für das OG5-Spektrum, der sich zu 5,2 errechnet, signifikant verschieden ($\Delta M = 4,2$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 2,85$). Der Wendepunkt und damit auch das Optimum innerhalb einer präferendalen Einstellung im Rot dürfte daher zwischen 630 nm und 690 nm liegen.

Im folgenden Versuch steht das RG8-Licht dem OG5-Licht gegenüber (Abb. 13). Es ist eigentlich zu erwarten, daß das RG8-Licht dem OG5-Licht vorgezogen wird. Wie die Ergebnisse zeigen, ist das tatsächlich der Fall. Nach einer Stunde befinden sich im Durchschnitt 23 Dugesien im dunkelroten, 9 Dugesien im orange-farbenen Licht (Tabelle 5, Abb. 11, B).

Es bleibt zunächst die Frage offen, ob ein Spektrum das noch mehr kurzwellige Strahlung enthält als das OG5-Licht, bei Gegenüberstellung mit RG2-gefiltertem Licht in noch größerem Ausmaße gemieden wird. Auf die von der spektralen Strahlungskurve des ungefilterten Glühlampenlichtes umschriebene Fläche bezogen, ist der Anteil, der nach dem Kurzwelligen hin über die „OG5-Grenze“ hinausgeht, nur noch gering (Abb. 14). Haben die Dugesien die Wahl zwischen RG2- und GG11-Licht (Abb. 15), so begeben sich im Durchschnitt nur 3,6 von 32 Tieren in das gelbe Licht, 28,4 Tiere hingegen bevorzugen das Rot (Tabelle 6, Abb. 11, F). Der Mittelwert für die „Gelbtiere“ liegt in der Tat etwas unter dem Mittelwert der „Orangetiere“ (5,2), beide Werte sind aber nicht signifikant voneinander unterschieden ($\Delta M = 1,6$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 2,78$). Man könnte zu dem Schluß kommen, daß das GG11-Licht den gleichen physiologischen Reiz auf *Dugesia gonocepala* ausübt wie das OG5-Licht. Bei Darbietung von energiegleichem OG5- und GG11-Licht (Abb. 16) ergibt sich überraschenderweise jedoch praktisch das gleiche Resultat wie aus dem RG2- / GG11-Versuch, daß nämlich durchschnittlich 28,5 Tiere das OG5-Licht dem

	RG8	RG2
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	9,4	22,6
s t	1,90 10,977	

Tabelle 4.

	RG8	OG5
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	23,0	9,0
s t	1,89 11,700	

Tabelle 5.

	RG2	GG11
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	28,4	3,6
s t	1,78 22,013	

Tabelle 6.

	OG5	GG11
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	28,5	3,5
s t	1,57 25,159	

Tabelle 7.

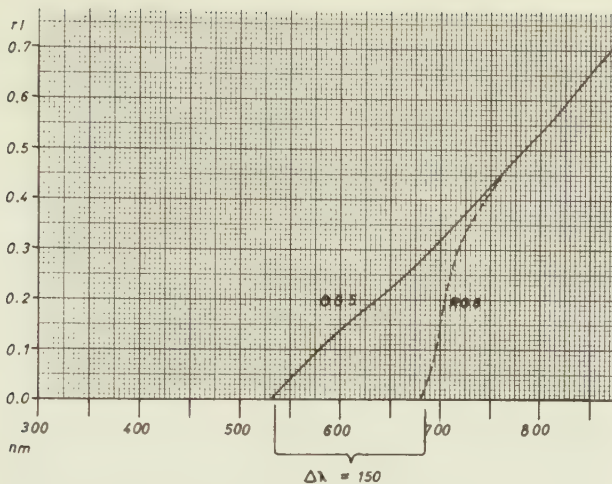


Abb. 13. Spektrale Strahlung für RG8- u. OG5-Filter.
 rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

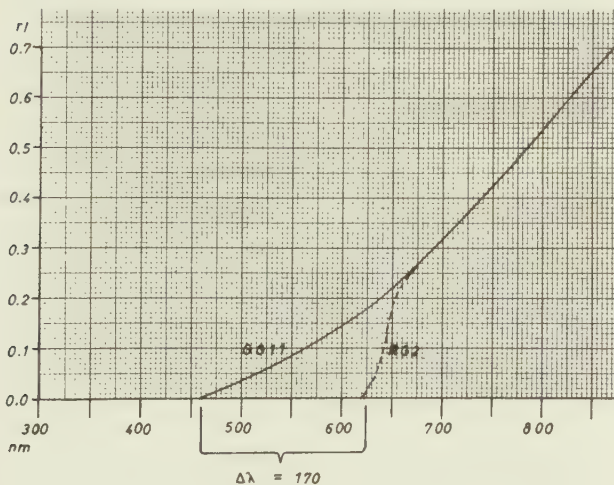


Abb. 15. Spektrale Strahlung für RG2- u. GG11-Filter.
 rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

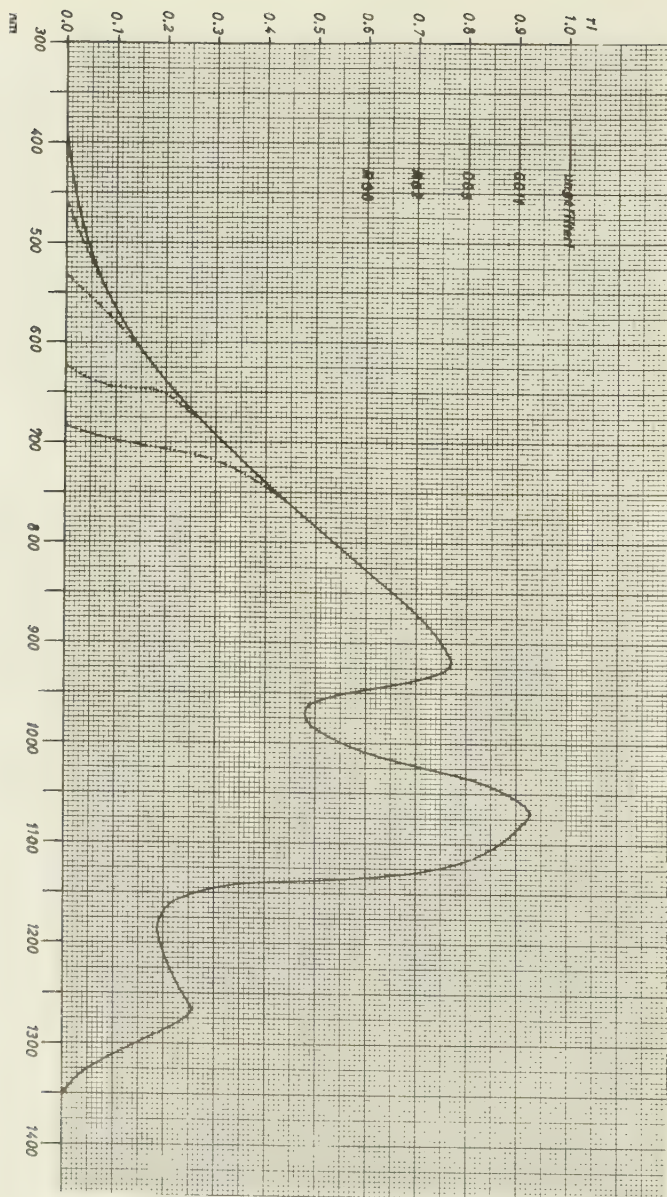


Abb. 14. Vergleich der spektralen Strahlungskurven.

GG11-Licht vorziehen (Tabelle 7, Seite 34; Abb. 11, F). Der geringe „Grünanteil“ (540 nm - 460 nm) des GG11-Lichtes hat also noch eine große physiologische Reizwirkung auf die Dugesien (vgl. Abb. 14, S. 36). Die zwei langwelligeren Spektren, deren Grenze bei 630 nm bzw. 540 nm liegt, verhalten sich also in ihren Reizgrößen gegenüber dem GG11-Licht gleich. Werden allerdings RG8-Licht und GG11-Licht zur Wahl geboten (Abb. 17), so stellen sich im Durchschnitt 7,8 von 32 Tieren im Gelb ein (Tabelle 8, Abb. 11, C). Die Mittelwerte 7,8 bzw. 24,2 sind von den Mittelwerten aus den RG2- / GG11- und den OG5- / GG11- Versuchen, 3,6 bzw. 28,4 und 3,5 bzw. 28,5 signifikant verschieden ($\Delta M = 4,2$ bzw. 4,3; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 2,96$ bzw. 2,85).

Weiterhin wird der Einfluß des ungefilterten Lichtes bei Gegenüberstellung mit den gefilterten Spektralbereichen auf die Verteilung der Dugesien geprüft. Können die Tiere zwischen RG2-Licht und dem ungefilterten Glühlampenlicht („WG1-Licht“) wählen (Abb. 18), so sitzen nach einer Stunde im Durchschnitt 28,5 Dugesien im RG2- und 3,5 Tiere im „WG1-Licht“ (Tabelle 9, Abb. 11, vgl. F). Es ergibt sich also das gleiche Verteilungsverhältnis wie im RG2- / GG11- oder OG5- / GG11- Versuch. Haben die Dugesien die Wahl zwischen OG5-Licht und ungefiltertem Licht (Abb. 19), sind nach einer Stunde im Orange durchschnittlich 25 Tiere, im „WG1-Spektrum“ 7 Tiere zu finden (Tabelle 10, Abb. 11, G). Die Mittelwerte 7 bzw. 25 sind von den Mittelwerten 3,5 bzw. 28,5 aus den RG2- / WG1- Versuchen nicht signifikant verschieden ($\Delta M = 3,5$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 4,05$). Auch von den Mittelwerten 3,5 bzw. 28,5 aus den OG5- / GG11- Versuchen unterscheiden sich die Mittelwerte 7 bzw. 25 nicht signifikant ($\Delta M = 3,5$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 4,14$).

Nun soll untersucht werden, ob sich das GG11-Licht und das „WG1-Licht“ (Abb. 20) in ihrer physiologischen Reizwirkung unterscheiden, wenn beide zur Wahl gestellt werden. Die Versuche ergeben, daß nach einer Stunde im gelben Licht durchschnittlich 14,1 Tiere, im „WG1-Licht“ dagegen 17,9 Tiere liegen (Tabelle 11, Abb. 11, H). Infolge hoher Streuung besteht allerdings kein statistisch zu sichernder Unterschied (s. Tabelle 11). Die gleiche physiologische Reizwirkung der beiden Spektren ist somit bestätigt, wenn nicht der geringe Flächenwert des WG1-Anteils (vgl. Abb. 14, Seite 36) unterhalb der Reizschwelle liegt.

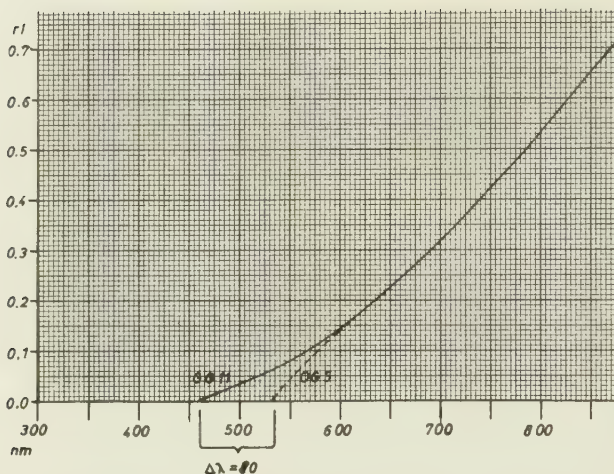


Abb. 16. Spektrale Strahlung für OG5- u. GG11-Filter.
 rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

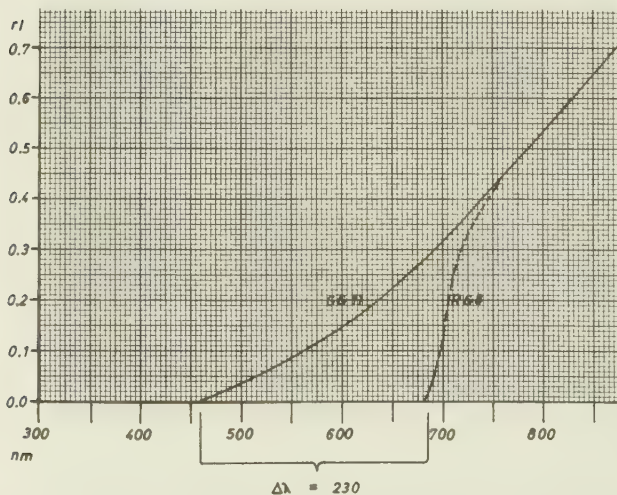


Abb. 17. Spektrale Strahlung für RG8- und GG11-Filter
 rI = relative Intensität; spektrale Differenz = $\Delta\lambda$

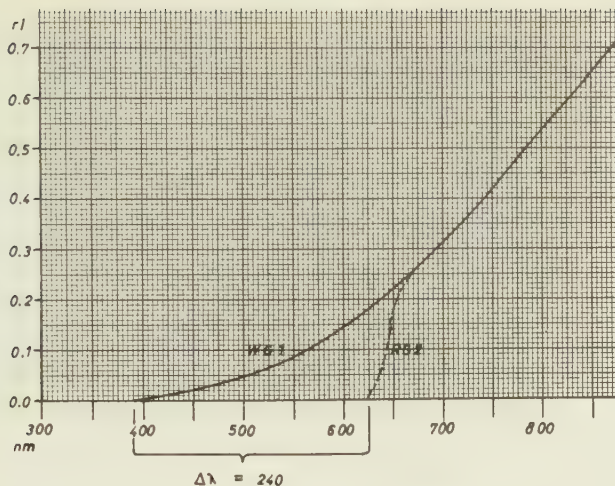


Abb. 18. Spektrale Strahlung für RG2-Filter u. ungefiltertes („WG1“-) Licht.
rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

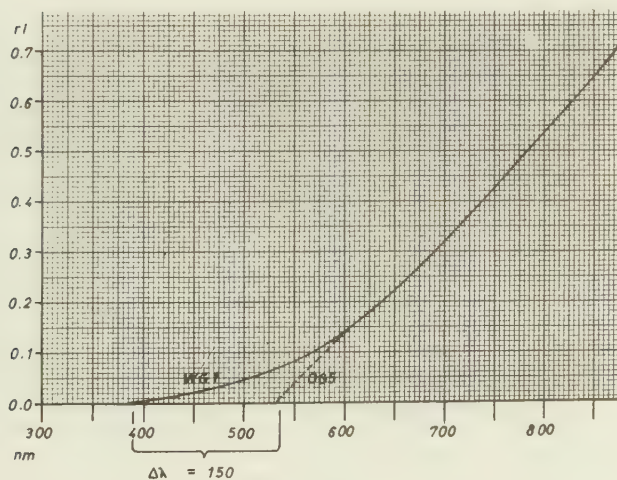


Abb. 19. Spektrale Strahlung für OG5-Filter u. ungefiltertes („WG1“-) Licht.
rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

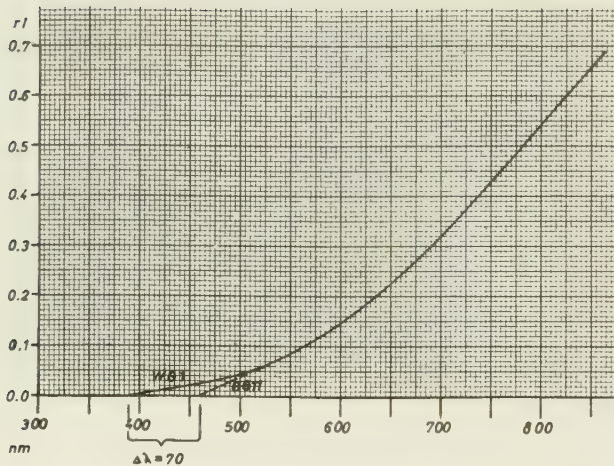


Abb. 20. Spektrale Strahlung für GG11-Filter u. ungefiltertes („WG1“-) Licht.
rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

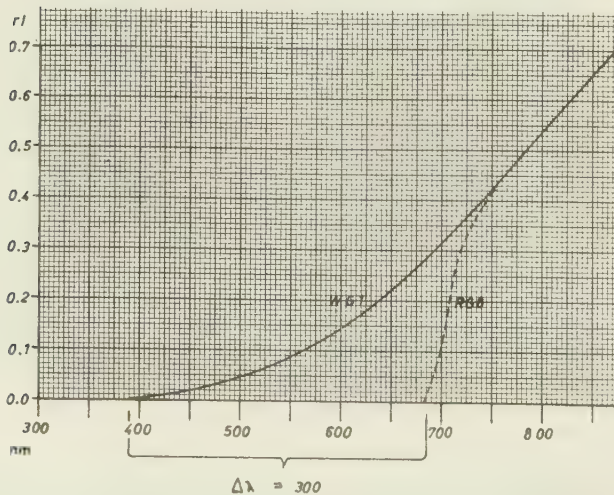


Abb. 21. Spektrale Strahlung für RG8-Filter u. ungefiltertes („WG1“-) Licht.
rI = relative Intensität, $\Delta\lambda$ = spektrale Differenz.

	RG8	GG11
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	24,2	7,8
s t	2,04 12,211	

Tabelle 8.

	RG2	WG1
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	28,5	3,5
s t	1,35 29,259	

Tabelle 9.

	OG5	WG1
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	25,0	7,0
s t	3,42 8,315	

Tabelle 10.

	GG11	WG1
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	14,1	17,9
s t	3,58 1,677	

Tabelle 11.

	RG8	WG1
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	25,6	6,4
s t	2,01 15,090	

Tabelle 12.

Auf dieses Problem soll später, bei der Besprechung der Schwellenwerte, näher eingegangen werden.

Da, wie schon erwähnt, keine Signifikanz zwischen den RG2- / OG5-Versuchen und den RG2- / GG11- Versuchen bzw. den RG2- / WG1-Versuchen besteht ($\Delta M = 1,6$ bzw. $1,7$; $\sigma \text{Diff.}t = 2,78$ bzw. $2,51$), verhalten sich also das OG5-Licht, das GG11-Licht und das „WG1-Licht“ in ihrer Reizgröße dem RG2-Licht gegenüber gleich. Die Reizgröße des RG8-Lichtes ist im Vergleich zu den Reizgrößen des OG5-, GG11- und „WG1“- Lichtes gegenüber dem RG2-Licht signifikant geringer.

Die Ergebnisse aus den Versuchen OG5 / GG11 und OG5 / WG1, sowie RG2 zu allen kurzwelligeren Bereichen, lassen keine statistischen Unterschiede erkennen. Es kann also gefolgert werden, daß kurzwellige Strahlung mit Grenzwellenlängen < 630 nm dem RG2-Licht und dem OG5-Licht gegenüber in gleicher Weise wirksam sind. OG5-Licht wird bei gleichzeitiger Darbietung von RG2-Licht oder RG8-Licht gemieden, mehr jedoch bei Anwesenheit von RG2-Licht. Wie die vorliegenden Befunde zeigen, wirkt das RG8-Licht bei Gegenüberstellung mit GG11-Licht weniger anziehend auf die Dugesien als das RG2-Licht. Das gleiche gilt auch erwartungsgemäß für das „WG1-Licht“. Stehen das RG8-Spektrum und das „WG1-Spektrum“ zur Wahl (Abb. 21, Seite 40), liegen nach einer Stunde durchschnittlich 25,6 Tiere im Dunkelrot und 6,4 Tiere im ungefilterten Licht (Tabelle 12, Seite 41; Abb. 11, D). Die resultierenden Mittelwerte 6,4 bzw. 25,6 sind von den Mittelwerten aus den RG2-/ WG1-Versuchen, 3,5 bzw. 28,5, gerade noch statistisch abzusichern ($\Delta M = 2,9$; $\sigma \text{Diff.}t = 2,68$). Zu den RG8- / GG11- und RG8- /OG5-Versuchen besteht kein signifikanter Unterschied ($\Delta M = 1,4$ bzw. $2,6$; $\sigma \text{Diff.}t = 3,15$ bzw. $3,06$). Auch dem RG8-Spektrum gegenüber hat also die Strahlung mit Grenzwellenlängen < 630 nm die gleiche physiologische Reizwirkung. Im ganzen gesehen wird das RG8-Licht im Vergleich zum RG2-Licht bei Gegenüberstellung mit Strahlung, deren Grenzwellenlängen im Kurzwelligen < 630 nm liegen, signifikant weniger bevorzugt.

Allgemein kann festgestellt werden, daß bei Einstrahlung energiegleicher Spektralbereiche bis zur Grenzwellenlänge 630 nm, die das RG2-Licht zum Kurzwelligen hin abgrenzt, stets die langwellige Strahlung der kurzwelligen vorgezogen wird. Wird das Spektrum durch den RG8-Filter bis zur Grenzwellenlänge 690 nm abgeschnit-

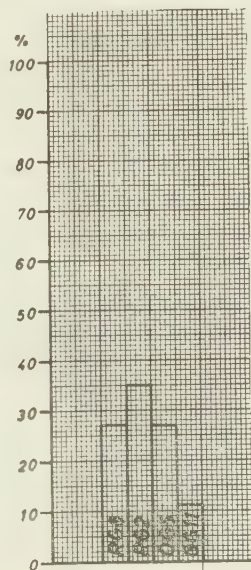
ten, kommt es zu einer Reaktionsumkehr in der präferendalen Einstellung gegenüber dem benachbarten RG2-Spektrum in der Weise, daß nun das kurzwelligere Gebiet aufgesucht wird. Die Bereiche mit den Grenzwellenlängen < 630 nm werden wieder gemieden. Innerhalb der Grenzwellenlängen 630 nm und 690 nm ist also das eigentliche Vorzugsgebiet der Dugesien zu suchen. GG11- und „WG1-Licht“ unterscheiden sich in ihrer physiologische Reizwirkung nicht, auch nicht bei Gegenüberstellung mit den anderen Spektralbezirken.

b. Vierlichtversuche.

In eine quadratische Plexiglasschale von 20 x 20 cm Kantenlänge werden 64 Dugesien ausgesetzt. Die Schale wird mit den Farbfilt-tern RG8, RG2, OG5 und GG11 bedeckt (spektrale Strahlungskurven vgl. Abb. 14, S. 36). Auch dieser Versuch wird 9 x wiederholt. Nach 1 Stunde ist folgendes festzustellen : Im RG8-Licht befinden sich im Durchschnitt aus den 10 Versuchen 17,5 Tiere, im RG2-Licht 22,6, im OG5-Licht 17,4 und im GG11-Licht 6,5 Tiere. S. Tabelle 13; Abb. 22. Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die Mittelwerte der RG8- und OG5- Tiere nicht von dem größeren Mittelwert der RG2- Tiere, wohl aber jene drei Mittelwerte von dem niedrigeren Mittelwert der GG11- Tiere signifikant verschieden. Werden im Zweilichtversuch das RG2-Spektrum (im Gegensatz zum RG8-Licht) bei Gegenüberstellung mit GG11-Licht signifikant bevorzugt, so verteilen sich die Dugesien im Vierlichtversuch in den drei Bereichen mit den Grenzwellenlängen > 460 nm fast gleich.

Abb. 22. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocéphala* bei Gegenüberstellung von jeweils vier Spektralbereichen.

Strahlungsenergie $I = 71 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2$.



j	RG8 λ	RG2 λ'	OG5 λ''	GG11 λ'''	z = 64	$\chi^2 = \frac{1}{16} \sum \lambda (x_{j\lambda} - 16)^2$	P (%)
1	18	21	17	8		5,875	>10
2	12	24	24	4		18,000	< 0,1
3	19	20	18	7		6,875	> 5
4	10	20	30	4		24,500	< 0,1
5	28	20	10	6		18,500	< 0,1
6	15	31	12	6		21,375	< 0,1
7	18	16	22	8		6,500	> 5
8	17	24	16	7		9,125	2,5
9	17	26	13	6		10,375	2
10	21	24	13	6		12,375	0,5 F.G.=3
n=10	175	226	174	65	nz=640	133,500	<<0,1 F.G.=30

Tabelle 13a. Verteilung der Dugesien im vierlichtversuch.
I = 71 μ W/cm². χ^2 -Test.

	RG8		RG2		OG5		GG11	
	t	P(%)	t	P(%)	t	P(%)	t	P(%)
RG8	—	—	2,26	5	0,03	>90	7,61	<0,02
RG2	2,26	5	—	—	1,83	>10	11,11	<0,02
OG5	0,03	>90	1,83	>10	—	—	4,73	0,11
GG11	7,61	<0,02	11,11	<0,02	4,73	0,11	—	—

Tabelle 13b. Statistischer Vergleich der Mittelwerte.
Signifikanz bei $P < 1\%$, $\alpha = 0,01$.

2. Energetische Abhängigkeit.

In den folgenden Versuchen wird die Ausgangsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf einer Seite oder auf beiden Seiten auf $1/2$, $1/8$, $1/32$, $1/128$ usw., verringert.

Wird ein langwelliger Spektralbereich (RG2) einem kurzwelligeren (OG5) vorgezogen, so liegt die Frage nahe, ob das in seiner Reizgröße offensichtlich wirksamere kurzwellige Licht durch Energiedämpfung dem langwelligen Licht (RG2) gleichkommt.

32 Dugesien werden der unverminderten RG2-Strahlung von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und der auf die Hälfte, d. h. also auf $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduzierten OG5-Strahlung ausgesetzt. Nach einer Stunde befinden sich im Durchschnitt aus 10 Versuchen 25,4 Tiere im Rot, 6,6 Tiere im Orange (Tabelle 14; Abb. 23, B). Die Mittelwerte 6,6 bzw. 25,4 sind von den Mittelwerten 5,2 bzw. 26,8 aus den RG2- / OG5- Versuchen mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten nicht signifikant verschieden ($\Delta M = 1,4$; $\sigma_{\text{Diff. t}} = 3,03$). Eine auf $1/8$, d. h. auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verringerte Energie hat das gleiche Ergebnis zur Folge. 25,3 Dugesien halten sich im RG2-Licht auf und 6,7 im OG5-Licht (Tabelle 15; Abb. 23, vgl. A und B). Beträgt die Strahlungsenergie auf der OG5- Seite nur noch $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, so ergeben sich die Werte 16,6 für die RG2- Tiere und 15,4 für die OG5- Tiere (Tabelle 16; Abb. 23, C). Beide Mittelwerte sind nicht signifikant voneinander unterschieden (s. Tabelle 16). RG2-Licht und OG5-Licht haben in diesem Falle die gleiche physiologische Reizgröße.

Entsprechend könnte in seiner Energie um ein bestimmten Betrag vermindertes RG8-Licht in seiner Reizwirkung dem RG2-Licht gleichkommen. Zunächst wird die Strahlungsenergie des RG8-Lichtes auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduziert. Nach einer Stunde läßt der Versuch erkennen, daß sich durchschnittlich im RG8-Licht 9,4 Dugesien, im RG2-Licht 22,6 Dugesien befinden (Tabelle 17; Abb. 24, vgl. A). Die gleichen Mittelwerte haben sich aus den RG8- / RG2- Versuchen mit gleicher Energie auf beiden Seiten ergeben. Da in den Versuchen mit gleicher Strahlungsenergie auf beiden Seiten bei Gegenüberstellung von RG2-Licht und OG5-Licht bzw. RG2-Licht und RG8-Licht das RG8-Spektrum mehr bevorzugt wird als das OG5-Spektrum, wäre eigentlich zu erwarten gewesen, daß sich bei Einstrahlung einer auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verminderten Energie auf der

RG8- Seite ein signifikant höherer Wert ergibt, als in den Versuchen mit mit RG8 / RG2 und $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten. Um die Verteilung der Dugesien von etwa 50 % zu 50 % bei der Einstrahlung von RG8- und RG2-Licht zu erhalten, muß die Energie des ersteren ebenfalls auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verringert werden: Nach einer Stunde liegen 15,1 Tiere im RG2- und 16,9 im RG8-Spektrum (Tabelle 18; Abb. 24, C). Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die beiden Mittelwerte nicht signifikant voneinander zu unterscheiden; beide Spektren haben die gleiche physiologische Reizwirkung auf die Dugesien.

Ist eine auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduzierte Strahlungsenergie der RG8- bzw. OG5- Seite im Ggegensatz zu der Ausgangsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dem RG2-Licht jeweils in ihrer physiologischen Reizwirkung gleich, so könnte sich bei Anwendung einer auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verminderten Energie auf der OG5- und RG8- Seite eine Verteilung der Dugesien von etwa 50 % zu 50 % ergeben. Wie der Durchschnitt aus 10 Versuchen zeigt, ist das jedoch nicht der Fall. Es befinden sich 23,8 Dugesien im RG8-Licht und 8,2 Dugesien im OG5-Licht (Tabelle 19; Abb. 25, D). Das sind also fast die gleichen Mittelwerte, die sich aus den Versuchen mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten ergeben haben ($\Delta M = 0,8$; $\sigma \text{Diff} \cdot t = 3,38$). Nun soll zunächst geprüft werden, ob auch bei einer Verminderung der Strahlungsenergie zweier Spektren in einem anderen Falle ein ähnliches Ergebnis erzielt werden kann. Werden die Dugesien der auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduzierten Energie des RG8- und RG2-Lichtes ausgesetzt, liegen nach einer Stunde im Durchschnitt 21,5 Tiere im RG2- und 10,5 Tiere im RG8-Licht. S. Tabelle 20, Abb. 25, B. Die entsprechenden Mittelwerte aus den RG2- / RG8- Versuchen mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten sind 22,6 und 9,4; es liegt kein signifikanter Unterschied vor; $\Delta M = 1,1$, $\sigma \text{Diff} \cdot t = 3,20$.

Es muß angenommen werden, daß die physiologischen Reizgrößen der einzelnen Spektralbereiche zueinander spezifisch sind. Dies gilt für alle geprüften Strahlungsenergien von $0,55 - 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Bezüglich seiner Reizgröße verhält sich das OG5-Licht bereits bei einer Energiedämpfung auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dem RG8- und RG2-Spektrum gegenüber gleich. Werden nämlich RG8-Licht mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und OG5-Licht mit $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ eingestrahlt, sammeln sich 22,9 Dugesien im Dunkelrot und 9,1 Dugesien im Orange an (Tabelle 21;

	RG2	OG5
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	25,4	6,6
s t	2,07 14,349	

Tabelle 14.

	RG2	OG5
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	25,3	6,7
s t	1,83 16,054	

Tabelle 15.

	RG2	OG5
I	71	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	16,6	15,4
s t	2,22 0,855	

Tabelle 16.

	RG8	RG2
I	9	71
$\bar{x} / \bar{y}$	9,4	22,6
s t	1,90 10,977	

Tabelle 17.

	RG8	RG2
I	0,55	71
$\bar{x} / \bar{y}$	16,1	15,9
s t	2,47 0,128	

Tabelle 18.

	RG8	OG5
I	0,55	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	23,8	8,2
s t	2,39 10,312	

Tabelle 19.

	RG8	RG2
I	0,55	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	10,5	21,5
s t	2,22 7,830	

Tabelle 20.

	RG8	OG5
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	22,9	9,1
s t	2,22 9,821	

Tabelle 21.

	RG2	GG11
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	26,7	5,3
s t	1,89 17,890	

Tabelle 22.

	RG2	GG11
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	27,0	5,0
s t	1,63 21,325	

Tabelle 23.

	RG2	WG1
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	29,6	2,4
s t	1,65 26,046	

Tabelle 24.

	RG2	WG1
I	71	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	26,1	5,9
s t	1,85 17,252	

Tabelle 25.

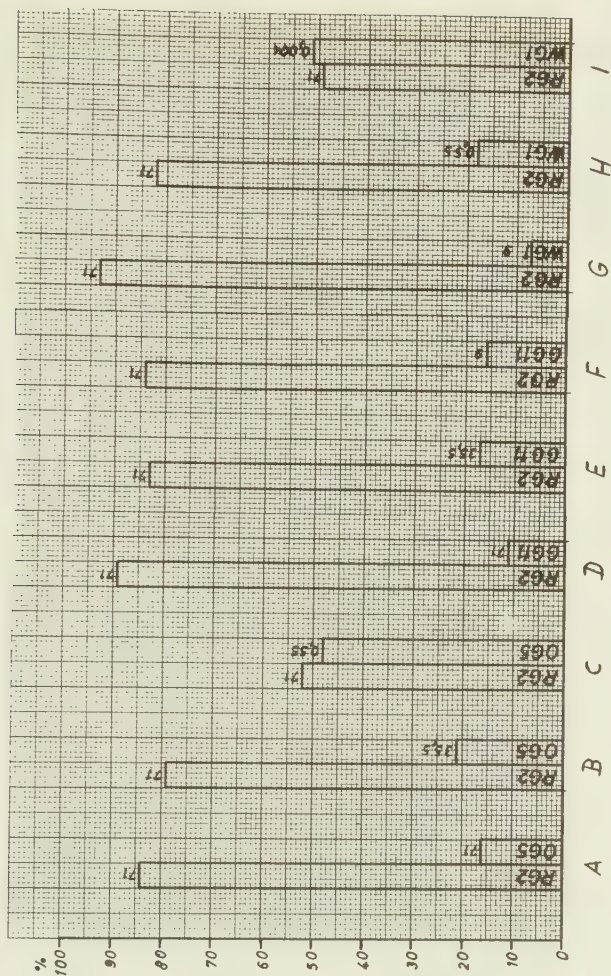


Abb. 23.

Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocepala* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei Spektralbereichen. Die Zahlen über den Säulen sind die Werte der Energie in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

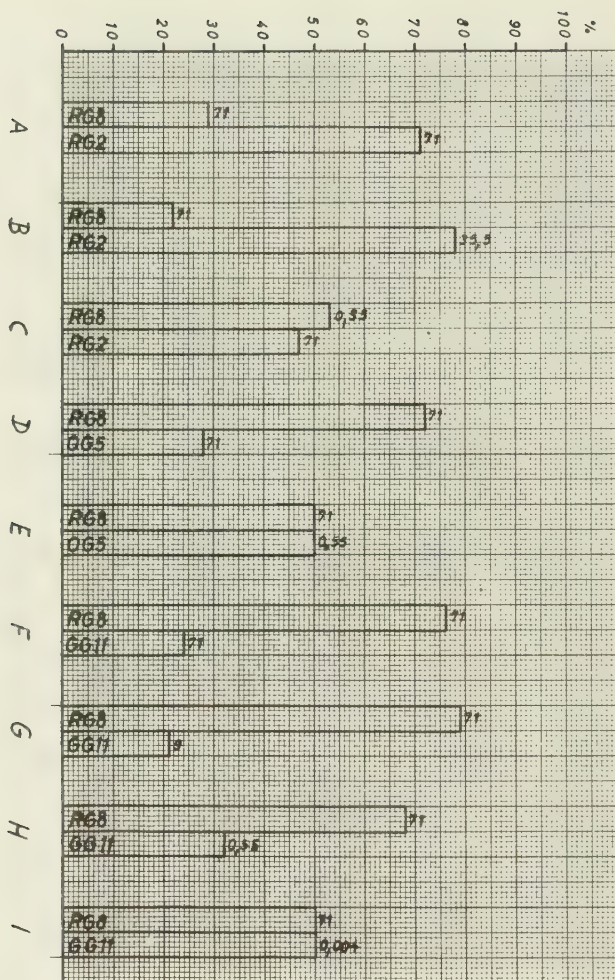


Abb. 24. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocephalis* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei Spektralbereichen. Die Zahlen über den Säulen sind die Energiewerte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

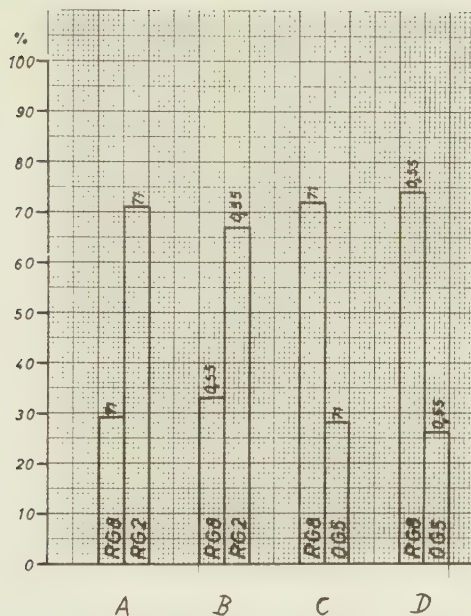


Abb. 25.

Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocephala* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei Spektralbereichen. Die Zahlen über den Säulen sind die Energiewerte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Abb. 24, vgl. D). Das sind praktisch die gleichen Zahlen, die sich aus den RG8- / OG5- Versuchen mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten, aber auch aus den RG2- / RG8- Versuchen mit 71 zu $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergeben haben.

Stehen das RG2-Spektrum und das auf $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verminderte GG11 Spektrum zur Wahl, haben sich nach einer Stunde 26,7 Tiere im roten und 5,3 Tiere im gelben Licht angesammelt (Tabelle 22, Seite 48; Abb. 23, E). Das Ergebnis ist von dem Befund aus den RG2- / GG11- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nicht signifikant zu trennen ($\Delta M = 0,7$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,85$). Auch bei einer auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduzierten Strahlungsenergie auf der GG11- Seite ergibt sich noch keine Signifikanz zu den RG2- / GG11- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($\Delta M = 1,4$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,64$). Es befinden sich 27 Dugesien im RG2- und 5 Tiere im GG11-Licht (Tabelle 23, Seite 48; Abb. 23, F). Wird das GG11-Spektrum gegen das Gesamtspektrum der Glühlampe („WG1-Licht“) ausgetauscht, befinden sich durchschnittlich 29,6 Dugesien im Rot und 2,4 Dugesien im ungefilterten Licht (Tabelle 24, Seite 48; Abb. 23, G). Es besteht kein signifikanter Unterschied zu dem Ergebnis aus dem vorangegangenen Versuch ($\Delta M = 2,6$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,60$). Wird das „WG1-Spektrum“ auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ gedämpft, liegen nach einer Stunde 26,1 Tiere im Rot und 5,9 Tiere im ungefilterten Licht (Tabelle 25, Seite 48; Abb. 23, H). Die Mittelwerte 5,9 bzw. 26,1 sind von den Mittelwerten 3,5 bzw. 28,5 aus den RG2- / WG1- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nicht signifikant verschieden ($\Delta M = 2,4$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,54$), wohl aber interessanterweise von den Mittelwerten aus den RG2- / WG1- Versuchen mit $71 / 9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($\Delta M = 3,5$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,75$). Wahrscheinlich beginnt bei einer auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ gedämpften Energie die physiologische Reizgröße des Gesamtspektrums und damit auch des sich gleich verhaltenden GG11-Spektrums geringer zu werden. Auf $0,004 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ gedämpftes „WG1-Licht“ bewirkt, daß sich durchschnittlich 16,2 Dugesien in diesen Bereich und 15,8 Dugesien in das RG2-Licht begeben (Tabelle 26; Abb. 23, I). Beide Spektralbereiche sind sich in ihrer physiologischen Reizwirkung gleich.

Werden im Verlauf der Versuche mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ die Spektralbezirke mit kurzwelligeren Anteilen gegenüber dem RG2-Spektrum in gleicher Weise gemieden, tritt bei einer Energiedämpfung des

OG5- und GG11- bzw. „WG1-“ Lichtes insofern eine Abweichung ein, als das OG5-Licht auf $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, die beiden anderen Spektren aber, offensichtlich wegen ihrer größeren Reizwirkung, auf $0,004 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ verringert werden müssen, um dem RG2-Spektrum gegenüber in gleicher Weise physiologisch wirksam zu werden. Bis zu einer Energiedämpfung auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ sind OG5- und GG11- Spektrum in ihrer Reizwirkung dem RG2-Licht gegenüber gleich, es besteht kein signifikanter Unterschied ($\Delta M = 1,7$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,71$). Überraschenderweise gilt das aber nicht für das OG5- und „WG1-Spektrum“ ($\Delta M = 4,3$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 2,71$), hier wird das OG5-Licht mit $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ signifikant weniger gemieden.

Stehen das OG5-Licht mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und das GG11-Licht mit $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ zur Wahl, liegen nach einer Stunde 23,6 Tiere im orangefarbenen und 8,4 Tiere im gelben Licht (Tabelle 27; Abb. 26, B). Die Mittelwerte sind von den Mittelwerten aus den OG5- / GG11-Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ signifikant verschieden ($\Delta M = 4,9$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 3,27$). In diesem Falle bewirkt schon eine auf die Hälfte herabgesetzte Energie des Spektralbereiches mit den kurzwelligen Anteilen eine signifikant größere Ansammlung der Dugesien in diesem Gebiet. Dämpfung des GG11-Lichtes auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ hat zur Folge, daß durchschnittlich 21,2 Dugesien im Orange und 10,8 Dugesien im Gelb liegen (Tabelle 28; Abb. 26, C). Die Mittelwerte liegen erwartungsgemäß signifikant höher als die Mittelwerte aus den OG5- / GG11- Versuchen ($\Delta M = 7,3$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 3,41$). Sie sind aber nicht signifikant verschieden von den Mittelwerten aus den Versuchen mit $71 / 35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($\Delta M = 2,4$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 4,07$). Bei einer Energieverminderung des GG11-Lichtes auf $2,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ist folgende Verteilung nach einer Stunde festzustellen: 16,9 Dugesien sind im OG5- und 15,1 im GG11- Spektrum (Tabelle 29; Abb. 26, D). Es liegt nun eine Verteilung von etwa 50 % zu 50 % vor.

Stehen sich OG5- und „WG1“- Licht gegenüber, dann liegen im Durchschnitt 25,1 Tiere im Orange und 6,9 Tiere im ungefilterten Licht, wenn das letztere auf die Hälfte seiner Energie reduziert worden ist (Tabelle 30; Abb. 32, E). Die OG5-/WG1- Versuche mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergeben fast die gleichen Zahlen (25 zu 7). Wenn das „WG1-Spektrum“ auf $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ gedämpft wird, befinden sich 23,1 Dugesien im Orange und 8,9 Dugesien im ungefilterten

Licht (Tabelle 31; Abb. 26, F). Die Mittelwerte sind von den entsprechenden Mittelwerten aus den OG5- / WG1- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und den OG5- / WG1- Versuchen mit $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nicht signifikant verschieden ($\Delta M = 1,9$ bzw. $2,0$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 4,52$ bzw. $3,62$). Eine energetische Dämpfung des „WG1-Spektrums“ auf $2,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ hat eine Verteilung der Dugesien von $16,9$ im Orange zu $15,1$ im ungefilterten Glühlampenlicht zur Folge (Tabelle 32; Abb. 26, vgl. D). Die gleichen Werte haben sich aus den OG5- / GG11- Versuchen mit $71 / 2,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergeben. Die OG5- / GG11- Versuche unterscheiden sich von den OG5- / WG1- Versuchen dadurch, daß die Dugesien das GG11-Licht bei Gegenüberstellung mit OG5-Licht signifikant weniger meiden, wenn dieses auf die Hälfte der Ausgangsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduziert worden ist.

Das RG8-Licht liegt in seiner Reizgröße zwischen dem RG2- und dem OG5-Licht. Es ist daher zu erwarten, daß die Energie auf der Seite mit den kurzwelligeren Anteilen, welche die gleiche physiologische Reizwirkung wie das RG8-Licht haben soll, zwischen $2,2$ und $0,004 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ liegen muß. Es ergibt sich, daß bei einer Energiedämpfung des GG11-Lichtes $0,04 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ sich die beiden Mittelwerte am nächsten kommen und nicht mehr signifikant voneinander zu trennen sind. Es befinden sich durchschnittlich $15,9$ Tiere im Dunkelrot und $16,1$ Tiere im Gelb (Tabelle 33; Abb. 24, I). Wird das GG11-Licht auf eine Energie von $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduziert, so befinden sich nach einer Stunde im Durchschnitt $25,4$ Dugesien im RG8- und $6,6$ im GG11-Licht (Tabelle 34; Abb. 24, G). Die Mittelwerte sind von den Mittelwerten aus den RG8- / GG11- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nicht signifikant zu unterscheiden ($\Delta M = 1,2$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 3,55$). Das gleiche gilt auch für die Mittelwerte aus den RG8- / GG11- Versuchen mit $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf der GG11- Seite ($\Delta M = 2,1$; $\sigma\text{Diff}\cdot t = 3,45$); die Ergebnisse in diesen Versuchen lauten: $22,1$ Dugesien sind im RG8-Licht und $9,9$ Dugesien im GG11-Licht zu finden. S. Tabelle 35 u. Abb. 24, H. Auf $2,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ energetisch gedämpftes „WG1-Licht“ hat die gleiche physiologische Reizwirkung wie das OG5-Licht, wenn beide Spektralbereiche zur Wahl gestellt werden. Wird nun die Energie auf der WG1- Seite auf $71 / 0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ reduziert, bevorzugen die Dugesien das ungefilterte Licht. Dort befinden sich im

	RG2	WG1
I	71	0,004
$\bar{x} / \bar{y}$	15,8	16,2
s t	3,70 0,174	

Tabelle 26.

	OG5	GG11
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	23,6	8,4
s t	2,52 9,530	

Tabelle 27.

	OG5	GG11
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	21,2	10,8
s t	2,70 6,086	

Tabelle 28.

	OG5	GG11
I	71	2,2
$\bar{x} / \bar{y}$	16,9	15,1
s t	3,61 0,788	

Tabelle 29.

	OG5	WG1
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	25,1	6,9
s t	2,38 12,080	

Tabelle 30.

	OG5	WG1
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	23,1	8,9
s t	2,28 9,840	

Tabelle 31.

	OG5	WG1
I	71	2,2
$\bar{x} / \bar{y}$	16,9	15,1
s t	3,24 0,878	

Tabelle 32.

	RG8	GG11
I	71	0,04
$\bar{x} / \bar{y}$	15,9	16,1
s t	3,54 0,089	

Tabelle 33.

	RG8	GG11
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	25,4	6,6
s t	2,47 12,026	

Tabelle 34.

	RG8	GG11
I	71	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	22,1	9,9
s t	2,38 8,105	

Tabelle 35.

	OG5	WG1
I	71	0,55
$\bar{x} / \bar{y}$	12,8	19,2
s t	2,58 3,922	

Tabelle 36.

	RG8	RG2
I	71	9
$\bar{x} / \bar{y}$	7,1	24,9
s t	2,42 11,621	

Tabelle 37.

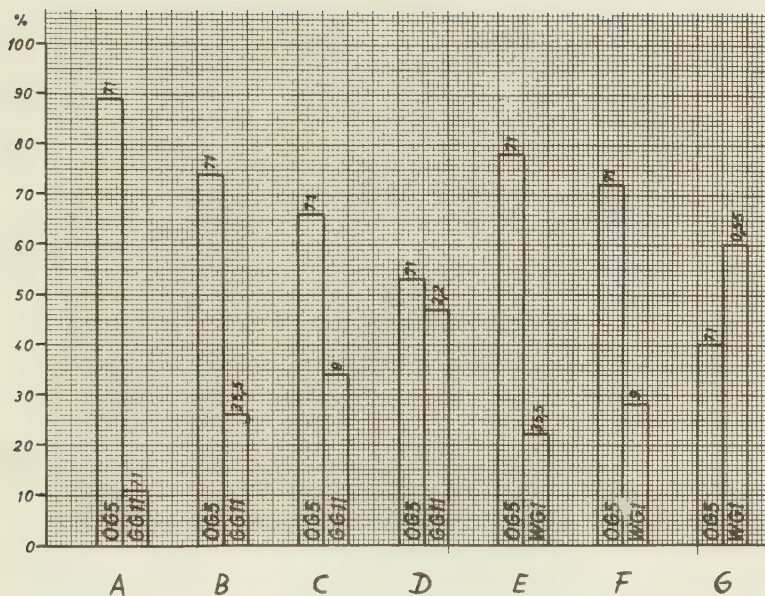


Abb. 26. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonoccephala* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei Spektralbereichen. Die Zahlen über den Säulen sind die Energiewerte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Durchschnitt aus 10 Einzelversuchen 19,2 von 32 Tieren (Tabelle 36, Seite 56; Abb. 26, G). Die Mittelwerte 19,2 und 12,8 sind, wie die Tabelle zeigt, signifikant verschieden.

Im Falle RG8 zu RG2 wird untersucht, ob eine Energieverminderung auf der RG2- Seite die Dugesien noch mehr präferential auf dieses Gebiet reagieren läßt. Eine Dämpfung der Strahlungsenergie auf $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ oder $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergibt jeweils eine Verteilung von 24,9 Tieren im RG2- und 7,1 Tieren im RG8-Licht. Tabelle 37 zeigt die Verteilung der Dugesien nach Einstrahlung von RG8-Licht mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und RG2-Licht mit $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (S. Abb. 24, vgl. B). Die Mittelwerte 7,1 bzw. 24,9 sind von den Mittelwerten 9,4 bzw. 22,6 aus den RG8- / RG2- Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nicht signifikant verschieden ($\Delta M = 2,3$; $\sigma \text{Diff} \cdot t = 3,33$ bzw. $3,37$).

Diese Untersuchungen über die Abhängigkeit einer präferentialen Einstellung in den einzelnen Spektralbezirken machen es wahrscheinlich, daß die energetische Abhängigkeit gegen die spektrale Abhängigkeit zurücktritt. Bei einer Energiedämpfung auf $< 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergeben zwei oder mehr aufeinanderfolgende Energiestufen dieselbe Anhäufung der Dugesien im jeweils gleichen spektralen Wahlbereich.

Folgende Versuche bestätigen die vorstehende Annahme : Wird die Versuchsschale auf der einen Seite von OG5-Licht mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und auf der anderen Seite von OG5- Licht mit $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ getroffen, so sind nach einer Stunde durchschnittlich 19,5 von 32 Dugesien in das energieärmere Gebiet gekrochen (Tabelle 38; Abb. 27, A), das sind signifikant mehr Tiere als im Bereich der vollen Energie. Wird in gleicher Weise mit „WG1-Licht“ bestrahlt, befinden sich auch im „WG1-Spektrum“ mit $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ im Durchschnitt mehr Dugesien als im „WG1-Spektrum“ mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, nämlich 22,9 von 32 (Tabelle 39; Abb. 27, B).

Die Dugesien sind in der Lage, eine Strahlungsenergiedifferenz von $35,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ zu unterscheiden und infolge ihres negativ - phototaktischen Verhaltens die schwächer beleuchteten Zonen gleicher Spektralbereiche aufzusuchen. Liegen aber verschiedene Spektren vor, so wird das kurzwelligere Spektrum bis zur Grenzwellenlänge 630 nm gemieden bzw. bis 690 nm aufgesucht, auch dann, wenn die Energie bis zu einem bestimmten Grad verringert wird. Bei den RG2- / GG11- Versuchen und den RG8- / GG11 bzw. RG8- /

	OG5	OG5
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	12,5	19,5
s	2,32	
t	4,767	

Tabelle 38.

	WG1	WG1
I	71	35,5
$\bar{x} / \bar{y}$	9,1	22,9
s	3,19	
t	6,835	

Tabelle 39.

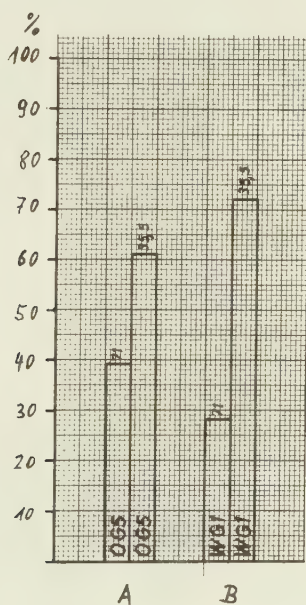


Abb. 27. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocephala* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei gleichen Spektralbereichen mit unterschiedlicher Strahlungsenergie. Die Zahlen über den Säulen sind die Energiewerte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

WG1- Versuchen kann die Energie der Spektralbereiche mit den kurzwelligeren Anteilen sogar auf weniger als 1/100 verringert werden, ohne daß die resultierenden Mittelwerte von den Mittelwerten aus den Versuchen mit $71 / 71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ signifikant zu unterscheiden sind.

Insgesamt zeigen alle diese Versuchsergebnisse, daß die physiologische Reizgröße eines Spektralbereiches bei Gegenüberstellung mit anderen Bereichen jeweils einen spezifischen Wert annimmt. Außerdem ist sie in gewissem Maße von der Strahlungsenergie abhängig.

Ein Spektralbereich wird erst zusammen mit einer dazugehörigen Energiestufe in seiner physiologischen Reizwirkung einem anderen gleich.

3. Licht-/Dunkel- Versuche.

Im folgenden Abschnitt werden Versuche unternommen, das Wahlvermögen zwischen den verschiedenen Spektren und der Dunkelheit zu prüfen.

Es stehen jeweils ein Spektralbereich und die Dunkelheit zur Wahl. Dabei muß zunächst erwähnt werden, daß infolge der notwendigen Öffnung unterhalb der schwarzen Querleiste in den Versuchsgefäßen keine absolute Dunkelheit in physikalischem Sinne herrscht, sondern daß immer noch etwas Streulicht in die Dunkelzone eintreten kann. Zur weitgehenden Vermeidung einer Reflexion des Streulichtes an den Schalenwänden und am Schalenboden wird an diesen Teilen das weiße Papier entfernt und durch mattes schwarzes Papier ersetzt. Auch bei diesen Untersuchungen beträgt die Versuchsdauer stets eine Stunde. Die Strahlungsenergie der Spektralbereiche entspricht der Ausgangsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Wenn das RG2-Licht und die Dunkelheit zur Wahl gestellt werden, liegen im Durchschnitt nur 5 Dugesien im Rot und 27 Dugesien bewegen sich in der Dunkelheit. An der Grenze zum Licht kommt es dabei zu Umkehrbewegungen zur Dunkelheit hin. Wie ja die Ergebnisse aus den orientierenden Vorversuchen vermuten ließen, kommen die Dugesien in der Dunkelheit nicht zur Ruhe.

Werden OG5-Licht und Dunkelheit geboten, begeben sich nur 6,1 von den 32 ausgesetzten Tieren in das OG5-Spektrum. Anwendung von RG8-Licht hat zur Folge, daß sich 26 Dugesien in der Dunkel-

zone aufhalten.

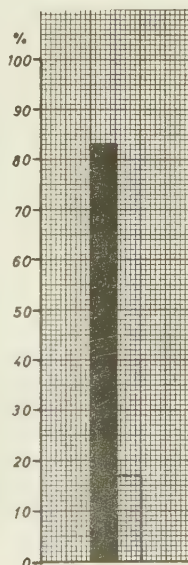
Wird das GG11-Licht der Dunkelheit gegenübergestellt, so befinden sich nach einer Stunde 27,8 Tiere im Dunkel, bei Einstrahlung des „WG1-Lichtes“ sind es 27,3 von 32 Dugesien. Die Verteilungen sind in der Tabelle 40 dargestellt. Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die Mittelwerte aus den Dunkel- bzw. Licht- Verteilungen in keinem Falle signifikant voneinander zu unterscheiden. Auffallend ist die große Streuung um den Mittelwert bei den RG2- / Dunkel- Versuchen.

Abb. 28 zeigt die sich aus den 5 Versuchsreihen ergebenden durchschnittlichen Prozentzahlen.

Allgemein kann gesagt werden, daß unter den hier vorliegenden Bedingungen stets die Dunkelheit dem Licht, unabhängig von seiner spektralen Zusammensetzung, vorgezogen wird.

Einige Kontrollversuche zeigen folgendes: Wirkt die Dunkelheit mehrere Stunden auf die Dugesien ein, so begeben sich mehr und mehr Tiere in den Bereich des Lichtes. Auf dieses Phänomen wird später in der Besprechung der Ergebnisse noch eingegangen werden.

Abb. 28. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von Dugesia gonocephal a bei Gegenüberstellung von der Dunkelheit und den Spektralbereichen mit einer Strahlungsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.



Nr.	RG8	RG2	OG5	GG11	WG1	
1	10	4	5	5	6	
2	9	4	9	2	6	
3	5	8	6	3	2	
4	5	1	8	5	4	
5	1	2	9	5	5	
6	6	1	7	6	4	
7	9	3	5	1	6	
8	3	8	3	5	2	
9	8	9	4	5	5	
10	4	10	5	5	7	
M	6,0	5,0	6,1	4,2	4,7	
σ	2,94	3,42	2,08	1,62	1,70	
σ_M	0,93	1,08	0,66	0,51	0,54	
ΔM	—	1,0	0,1	1,8	1,3	
σ_{Diff}	—	1,40	1,14	1,06	1,08	RG8
$\sigma_{Diff \cdot t}$	—	4,87	3,97	3,69	3,76	
ΔM	1,0	—	1,1	0,8	0,3	
σ_{Diff}	1,40	—	1,27	1,20	1,21	RG2
$\sigma_{Diff \cdot t}$	4,87	—	4,32	4,18	4,21	
ΔM	0,1	1,1	—	1,9	1,4	
σ_{Diff}	1,14	1,27	—	0,84	0,85	OG5
$\sigma_{Diff \cdot t}$	3,97	4,32	—	2,92	2,96	
ΔM	1,8	0,8	1,9	—	0,5	
σ_{Diff}	1,06	1,20	0,84	—	0,74	GG11
$\sigma_{Diff \cdot t}$	3,69	4,18	2,92	—	2,58	
ΔM	1,3	0,3	1,4	0,5	—	
σ_{Diff}	1,08	1,21	0,85	0,74	—	WG1
$\sigma_{Diff \cdot t}$	3,76	4,21	2,96	2,58	—	

Tabelle 40. Anzahl der Dugesien, die sich jeweils im Licht mit einer Strahlungsenergie von 71 $\mu W/cm^2$ befinden.

4. „Grau- oder Helligkeitsstufen“, Schwellenwerte.

Es könnte nun so sein, daß die einzelnen Spektren bei einer bestimmten niederen Energiestufe einen Wert erreichen, auf den die Dugesien wie auf Dunkelheit reagieren. Wenn man von der Möglichkeit eines Farbensehens der *Dugesia gonocephala* absieht - es konnte übrigens bisher nicht nachgewiesen werden, dürfte aber äußerst unwahrscheinlich sein - könnte man demzufolge jedem Spektralbereich mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, also der Ausgangsenergie, eine bestimmte „Graustufe“, oder besser „Helligkeitsstufe“ zuordnen (vgl. G. LEMKE, 1935). Wenn die Dunkelheit von der negativ - phototaktischen *Dugesia gonocephala* stets dem weißen wie dem farbigen Licht vorgezogen wird, müßte das RG2-Licht als dunkles Grau bzw. als geringe Helligkeitsstufe empfunden werden, das RG8-Licht als ein etwas helleres Grau. Denn das RG2-Licht wird ja allen anderen Spektralbereichen und das RG8-Licht den Bereichen, die kurzwelligere Strahlung als das RG2-Licht enthalten, signifikant vorgezogen (vgl. G. LEMKE, 1935). Nach der Graustufen- oder Helligkeitsstufenhypothese (A. ERHARDT, 1932; G. LEMKE, 1935) müßte jeder Spektralbereich, wenn auch die einzelnen Bereiche der Dunkelheit gegenüber zunächst gleich wirken(vgl. gleiche Wirkung von OG5-, GG11- und „WG1-Licht gegenüber RG2-Licht !), einen bestimmten Schwellenwert besitzen, d. h. eine Stufe geringer Energie müßte von der Dunkelheit nicht mehr unterschieden werden können. Für *Dugesia gonocephala* ließe sich dann eine spezifische „Sehkurve“ nach der Lichtsinnesempfindlichkeit der Photorezeptoren für die einzelnen Spektralbezirke aufstellen. Im folgenden soll geklärt werden, inwieweit sich diese Annahme bestätigen läßt.

Das Gesamtspektrum der Glühlampe wird bei Gegenüberstellung mit RG2-Licht oder der Dunkelheit in etwa gleicher Weise gemieden. Zur Erzielung einer gleichgroßen physiologischen Reizwirkung zwischen RG2- und „WG1-Licht“ ist eine Dämpfung auf der WG1 - Seite auf $0,004 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ notwendig. Selbst dieser geringe Energiebetrag des „WG1-Spektrums“ liegt ohne Zweifel noch weit über dem Schwellenwert. Denn andererseits wird ja die Dunkelheit wieder dem RG2-Licht vorgezogen.

Eine Dämpfung des „WG1-Lichtes“ auf $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ hat zur Folge, daß sich nach einer Stunde durchschnittlich — wenn die Dunkelheit gleichzeitig geboten wird — 17,6 Dugesien in der Dunkelheit und 14,4 Dugesien in dem ungefilterten Licht befinden (Tabelle 41a; Abb. 29, A₁). Die beiden Mittelwerte sind bei einer nur geringen Streuung (Signifikanzniveau hier 5 %) noch signifikant voneinander zu trennen. Erst bei einer Energie von $0,00003 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ wird das ungefilterte Glühlampenlicht nicht mehr signifikant von der Dunkelheit unterschieden (Tabelle 41b; Abb. 29, A₂). Es befinden sich 15,4 Dugesien im „WG1-Licht“ und 16,6 Dugesien im Dunkeln. Der Schwellenwert dürfte bei diesem Energiebetrag gerade schon überschritten sein und bei etwa $0,00006 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ liegen, d. i. weniger als ein Millionstel der Ausgangsenergie. Es wäre jetzt zu erwarten, daß der Schwellenwert für das RG2-Licht weit höher liegt. Die Versuchsergebnisse bestätigen dies allerdings nicht. Wird das RG2-Licht bis auf $0,00003 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ gedämpft, befinden sich im roten Licht und im Dunkel je 16 Dugesien (Tabelle 42b; Abb. 29, B₂). Bei einer Strahlungsenergie von $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ergibt sich wiederum ein signifikanter Unterschied für die Mittelwerte; im Dunkeln sind 18,2 Dugesien und im RG2-Licht 13,2 Dugesien vorzufinden. S. Tabelle 42a; Abb. 29, B₁. Auch in diesem Fall muß der Schwellenwert bei einer Energie von etwa $0,00006 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ angenommen werden. Damit scheinen sich die „heterochromen Helligkeitsgleichungen“, wie sie von G. LEMKE (1935) beschrieben werden, zumindest bei Einwirkung von Streu-licht, das eine Richtungsorientierung der Dugesien weitgehend ausschließt, nicht zu bestätigen. Die Helligkeitsstufen haben eine offensichtliche Bedeutung für das Orientierungssehen, das die Augen vermitteln. In unserem Falle ist es nicht möglich eine sog. Sehkurve aufzustellen, sondern nur, eine Kurve der Verhaltensweise der *Dugesia gonocephal*a auf die einzelnen Spektralbereiche zu geben. Für die einfallende Strahlungsenergie ergibt sich eine Empfindlichkeitsgrenze bei etwa $0,00006 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, die wellenlängenunabhängig ist. Das unterschiedliche Reagieren der Dugesien auf verschiedene Wellenlängen bei Gegenüberstellung zweier Spektralbereiche ist bis zum Energiebereich von $0,55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ nachgewiesen (s. o., Energiedämpfung auf beiden Seiten), dürfte aber bis zu $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ möglich sein.

	WG1	D.
I	0,0001	0
$\bar{x} / \bar{y}$	14,4	17,6
s	1,74	
t	2,906	
d	5 %	
t_d	2,26	

Tabelle 41a.

Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen "WG1-Licht" von 0,0001 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und der Dunkelheit.

	WG1	D.
I	0,00003	0
$\bar{x} / \bar{y}$	15,4	16,6
s	2,77	
t	0,684	
d	5 %	
t_d	2,26	

Tabelle 41b.

Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen "WG1-Licht" von 0,00003 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und der Dunkelheit.

	RG2	D.
I	0,0001	0
$\bar{x} / \bar{y}$	13,8	18,2
s	2,49	
t	2,792	
d	5 %	
t_d	2,26	

Tabelle 42a.

Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen RG2-Licht von 0,0001 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und der Dunkelheit.

	RG2	D.
I	0,00003	0
$\bar{x} / \bar{y}$	<u>16,0</u>	<u>16,0</u>
s	1,63	
t	—	
d	—	
t_d	—	

Tabelle 42b.

Verteilung der Dugesien bei der Wahl zwischen RG2-Licht von 0,00003 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und der Dunkelheit.

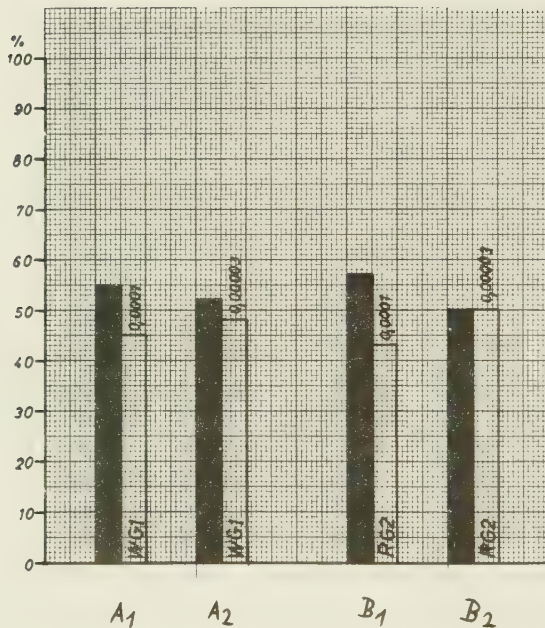


Abb. 29.

Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von *Dugesia gonocéphala* bei Gegenüberstellung von der Dunkelheit und jeweils einem Spektralbereich mit einer Strahlungsenergie, die nahe über bzw. nahe unter dem Schwellenwert liegt. Die Zahlen über den hellen Säulen sind die Energiewerte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

5. Vergleichende Betrachtungen über die physiologischen Reizgrößen für die einzelnen Spektralbereiche.

Zunächst sei bemerkt, daß die kleine Fläche, welche von den spektralen Strahlungskurven des GG11- und „WG1“- Lichtes begrenzt wird (vgl. Abb. 14, Seite 36) energetisch, im Vergleich zur Gesamtfläche, welche die WG1- Kurve umschreibt, größer als der Schwellenwert ist. Damit ist erwiesen, daß der spektrale Unterschied zwischen „WG1-“ und GG11-Spektrum noch wahrgenommen werden kann.

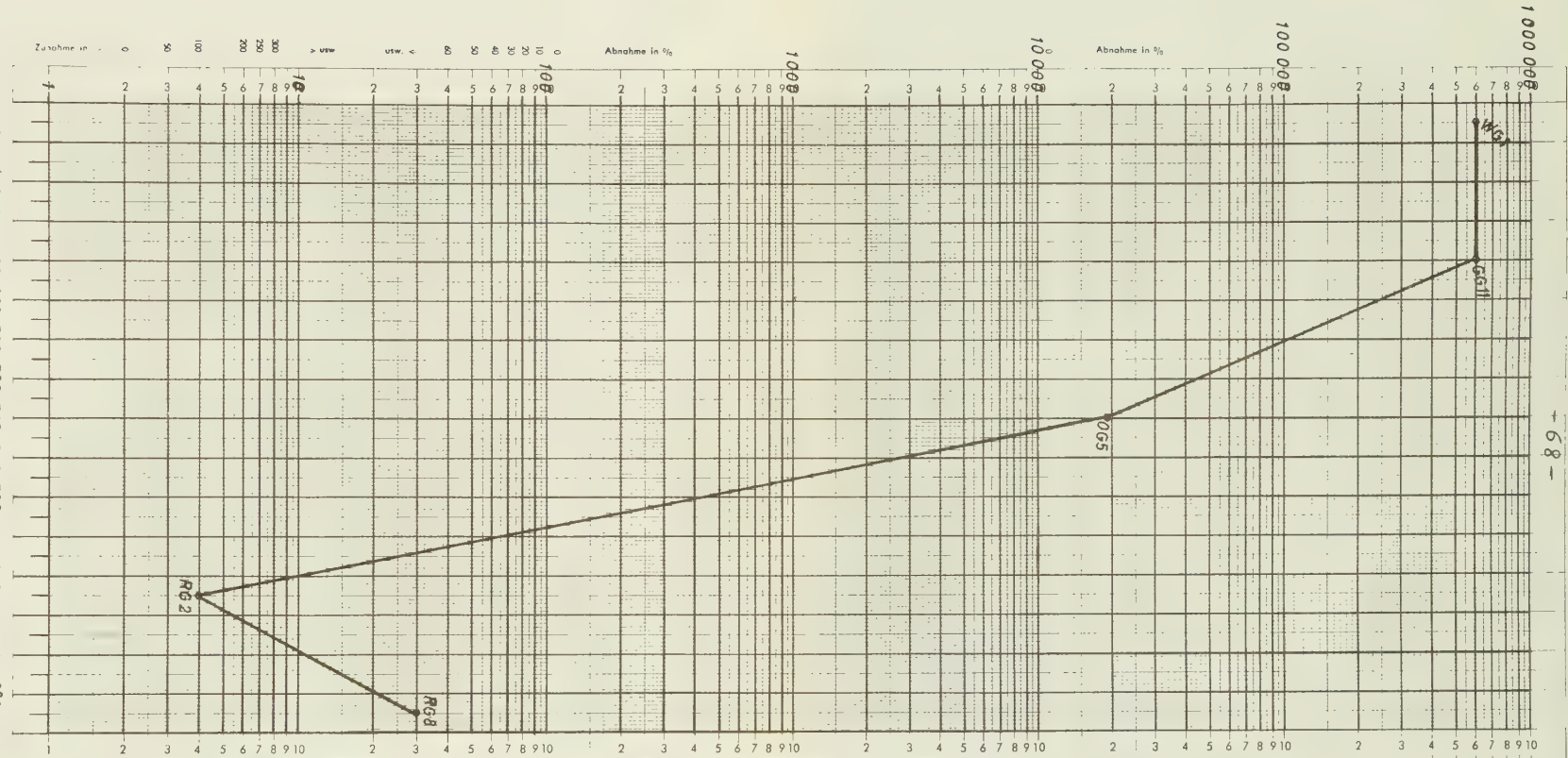
Der ermittelte Schwellenwert gestattet nun, annähernd relative Maße für die Reaktion der Dugesien auf die einzelnen Spektralbereiche zu geben. Es wird dabei davon ausgegangen, daß sich bei Gegenüberstellung von zwei „WG1-Lichtern“ stets eine Verteilung von 50 % zu 50 % ergibt. Nun wird der Schwellenwert von $0,00006 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 6 \cdot 10^{-5} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ durch den Energiefaktor der einzelnen Spektren dividiert, der sie in ihrer physiologischen Reizwirkung mit der Strahlungsenergie des Gesamtspektrums gleichmacht. Für das „WG1-Licht“ beträgt dieser Faktor F für $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 1$. Die relative Empfindlichkeit auf das Strahlungsspektrum liegt also bei $6 \cdot 10^{-5} : 1 = 6 \cdot 10^{-5} (= 0,00006)$. Das gleiche gilt auch für GG11. Für das OG5-Licht ergibt sich dann ein Faktor von 32 (auf WG1 bezogen) und die relative Empfindlichkeit beträgt somit $6 \cdot 10^{-5} : 32 = 0,19 \cdot 10^{-5}$. Für das RG2-Licht gilt dann $6 \cdot 10^{-5} : 16384 = 0,00004 \cdot 10^{-5}$ und für das RG8-Licht $6 \cdot 10^{-5} : 2048 = 0,0003 \cdot 10^{-5}$.

Abb. 30 zeigt die Näherungskurve für die spektrale Empfindlichkeit der *Dugesia gonocepala* auf die angewandten Spektralbereiche (logarithmischer Maßstab). Ähnliche kurven hat G. VIAUD (1950) als Kurven der Hautlichtsinnesempfindlichkeit für verschiedene Tricladen dargestellt.

6. Photorezeptoren und präferendale Einstellung.

Bisher ist schon mehrfach nachgewiesen worden, daß für die phototaktische und präferendale Einstellung der Dugesien und anderer Süßwassertricladen der Hautlichtsinn oder photodermale Sinn genügt. Die Augen dienen lediglich der Richtungsorientierung (G. LEMKE, 1935; G. VIAUD, 1950; 1961; G. HENKE, 1956; W. THIEMANN, 1957/58). Es werden deshalb hier nur einige Kontrollversuche

1000 008
+ 68 -



Copyright G. A. G. / G. A. G. Nr. 369 1/2:6
Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab
Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab

Abb. 30. Relative spektrale Empfindlichkeit von Duergesla spectrographa. Die Punkte bezeichnen jeweils die Grenzwellenlängen des Filterlichtes nach dem Kurzwelligeren hin.
Abszisse: Wellenlängen in nm; Ordinate: Empfindlichkeitsstufen $\cdot 10^{-10}$.

angestellt. Frisch dekapitierte *Dugesia gonoccephala* sind nach wenigen Minuten zwar wieder mechanisch reizbar, reagieren aber selbst nach einer Stunde noch kaum auf Lichtreize (vgl. W. THIEMANN, 1957/58). Bei diesen Tieren sind nicht nur die Augen, sondern auch die Regionen stärkster Anhäufung der Hautlichtsinneszellen entfernt. Nun werden einige Zweilichtversuche mit einer Strahlungsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ auf beiden Seiten mit regenerierenden Dugesien wiederholt, die zwar schon wiedergebildete, durch schwarze Pigmentflecke gekennzeichnete „Augenanlagen“ aufweisen, welchen aber noch die N.-opticus - Verbindung zum Cerebralganglion fehlt. Die Tiere zeigen stets das gleiche Verhalten wie die Tiere mit voll funktionsfähigen Augen. Die oben ermittelte Lichtsinnesempfindlichkeitskurve ist also tatsächlich die Kurve der Hautlichtsinnesempfindlichkeit.

7. „WG1“- adaptierte *Dugesia gonoccephala*.

Bei allen bisherigen Versuchen sind die Tiere aus dem Halteaquarium genommen worden. Sie sind praktisch dunkel - adaptiert gewesen, soweit sie sich unter Steinen aufhielten, oder hell - adaptiert, wenn sie sich auf dem Sand oder an den Schalenwänden befanden. Es gibt niemals Unterschiede in der Verteilung, wenn einmal nur Dugesien von der Unterseite eines Steines, ein Andermal nur Dugesien von der Oberfläche eines hellen Steines oder den Schalenwänden zu den Versuchen herangezogen werden. In dem Aquarium haben die Dugesien die ständige Möglichkeit, die Dunkelheit zu verlassen und sich ins Licht zu begeben, wahrscheinlich dem Tag - Nacht - Rhythmus folgend, sodaß die Dunkelheit niemals infolge längerer Einwirkung schädigend auf die Tiere sein kann. In einem solchen Falle bevorzugen die Tiere das Licht, sobald es geboten wird (wie oben schon erwähnt worden ist). Es soll nun geprüft werden, ob durch eine längere Adaptation an eine bestimmte Lichtenergie Unterschiede in der Verteilung im daran anschließenden Versuch hervorgerufen werden können. Die Dugesien werden in weiße Porzellanschalen gegeben und für 24 Stunden dem „WG1-Licht“ ausgesetzt. Die Schalen werden zur Konstanthaltung der Temperatur in das gleiche Wasserbad gestellt, in das die Flexiglasschalen tauchen. Nach der angegebenen Zeit werden die Dugesien, unter den gleichen Bedingungen wie in den

vorangegangenen Versuchen, in eine Plexiglasschale gebracht und bekommen RG2- und GG11-Licht zur Wahl gestellt. Es sind dies Spektralbereiche, die in der Verteilung der an natürliche Bedingungen adaptierten Dugesien zu Extremwerten führten. Nach einer Stunde befinden sich im Durchschnitt 7,6 von 32 Dugesien im GG11-Licht (Tabelle 43; Abb. 31). Aus den Versuchen mit nicht „WG1“ - adaptierten Dugesien ergab sich für die GG11- Tiere ein Mittelwert von 3,6 (vgl. Abb. 31). Beide GG11- bzw. RG2- Mittelwerte sind gerade noch signifikant zu unterscheiden ($\Delta M = 4,0$; $\sigma_{Diff \cdot t} = 3,72$).

Wenn die „WG1“ - adaptierten *Dugesia gonocephala* auch die kurzwelligere Strahlung weniger meiden, so kann aufgrund des Ergebnisses doch gesagt werden, daß eine taglange Adaptation ans Gesamtspektrum der Glühlampe nur von geringem Einfluß auf die Verteilung ist.

8. Versuche mit Metallinterferenzfiltern.

Die in den vorhergehenden Versuchen angewandten Farbfiltergläser lassen jeweils einen großen Spektralbereich von mehreren 100 nm hindurchtreten. Es ist nun von Interesse, den Einfluß praktisch monochromatischer Strahlung auf das präferendale Verhalten der *Dugesia gonocephala* zu untersuchen. Hierzu werden Schott - Metallinterferenzfilter benutzt. Die Durchlässigkeitskurven dieser Filter sind bereits in Abb. 6 S. 16 aufgezeichnet. Die Strahlungsenergie zweier zur Wahl gestellter Spektralbereiche beträgt in jedem Falle $0,27 \mu W/cm^2$. Das entspricht, auf die Ausgangsenergie von $71 \mu W/cm^2$ bezogen, einem Energiebetrag von etwa $1/250$.

Im einzelnen zeigen die Untersuchungen folgendes :

Die beiden kurzwelligen Bereiche mit $\lambda_{max} = 512$ nm und $\lambda_{max} = 456$ nm werden nicht signifikant unterschieden. Es ergibt sich nach einer Stunde ein Durchschnitt aus 10 Einzelversuchen von 17,9 zu 14,1 (Tabelle 44, A; Abb. 32, A). Wenn sich die Spektralbereiche mit $\lambda_{max} = 557$ nm und $\lambda_{max} = 456$ nm gegenüberstehen, ist trotz der größeren spektralen Differenz von 101 nm praktisch die gleiche Verteilung zu beobachten (Tabelle 44, B; Abb. 32, B). Erst bei einer spektralen Differenz von 128 nm zeichnet sich ein signifikanter Unterschied ab, indem 19,5

	RG2	GG11
I	71	71
$\bar{x} / \bar{y}$	24,4	7,6
s	2,88	
t	9,217	
α	1 %	
t_{α}	3,25	

Tabelle 43. Verteilung der „WG1“ - adaptierten Dugesien bei der Wahl zwischen RG2- und GG11-Licht. I = 71 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

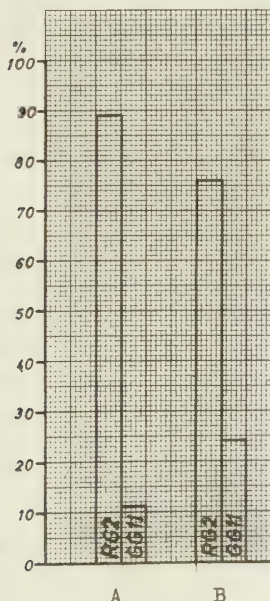


Abb. 31. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung von „WG1“ - adaptierten *Dugesia gonocéphala* bei Gegenüberstellung von RG2- und GG11-Licht; s. B. Zum Vergleich daneben (A) die Verteilung der nicht adaptierten Tiere.

Dugesien im Spektralbezirk mit $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ liegen und 12,5 Dugesien im Bezirk mit $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ (Tabelle 44, C; Abb. 32, C). Stehen die Bereiche mit $\lambda_{\max} = 633 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ zur Wahl, kommt es zu einer starken Bevorzugung der roten Strahlung. Dort befinden sich durchschnittlich 26 von 32 Dugesien (Tabelle 44, D; Abb. 32, D). Die Werte kommen den Mittelwerten aus den RG2- / WG1- bzw. RG2- / GG11- Versuchen nahe. Haben die Tiere die Wahl zwischen den Bereichen mit $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$, so resultiert ein dem vorhergehenden Ergebnis fast gleichender Mittelwert der Rot - Tiere von 25,3 (Tabelle 44, E; Abb. 32, E). Die Bereiche mit $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$, sowie $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ haben dem Spektralbezirk mit $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ gegenüber eine fast gleich große physiologische Reizwirkung. Wie werden nun diese Bereiche im einzelnen voneinander unterschieden?

Zunächst werden die Spektralbereiche mit $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ eingestrahlt. Trotz der nur geringen Wellenlängendifferenz von 45 nm wird der langwelligere Bereich signifikant bevorzugt. In ihn begeben sich im Durchschnitt 18,9 von 32 Dugesien (Tabelle 44, F; Abb. 32, F). Stehen in den folgenden Versuchen die Bereiche mit $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ zur Wahl, reagieren die Dugesien noch mehr präferential zum Langwelligen hin; dort liegen nach einer Stunde 21,8 von 32 Tieren (Tabelle 44, G; Abb. 32, G). Die gefundenen Mittelwerte sind von den Werten aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$ / $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ nicht signifikant zu unterscheiden ($\Delta M = 2,9$; $\sigma_{\text{Diff} \cdot t} = 3,17$). Werden die Spektralbereiche mit $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$ geboten, ergibt sich bei einer spektralen Differenz von nur 27 nm keine signifikant unterschiedliche Verteilung. 19 von 32 Dugesien suchen den Bereich mit $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ auf (Tabelle 44, H; Abb. 32, J). Es liegt also ein ähnliches Verhältnis vor wie bei Einstrahlung der Lichter mit $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$ zu $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$. Die Spektralgebiete mit $\lambda_{\max} = 633 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$ haben dem Gebiet mit $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ gegenüber eine fast gleiche Wirkung, werden dabei aber im Vergleich zu den Spektralbereichen mit $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$, $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 584 \text{ nm}$ signifikant mehr bevorzugt ($\Delta M = \text{stets} < \sigma_{\text{Diff} \cdot t}$ aus Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633 \text{ nm}$ bzw. 678 nm und $\lambda_{\max} = 512, 557$ und 584 nm).

Haben die Dugesien nun die Wahl zwischen den Bereichen mit $\lambda_{\max}$

= 678 nm und $\lambda_{\max} = 633$ nm, so ergeben sich die Mittelwerte von 17,4 zu 14,6 (Tabelle 44, I; Abb. 32, O), die nicht mehr signifikant voneinander zu trennen sind.

Die nächsten Versuche sollen klären, wie sich die beiden roten Strahlungen in ihrer physiologischen Reizwirkung den Spektralbereichen mit $\lambda_{\max} = 584$ nm, $\lambda_{\max} = 557$ nm und $\lambda_{\max} = 512$ nm gegenüber verhalten. Werden die Bereiche mit $\lambda_{\max} = 633$ nm und $\lambda_{\max} = 512$ nm eingestrahlt, begeben sich 21,6 Dugesien ins Rot (Tabelle 44, J; Abb. 32, H). Der Mittelwert liegt signifikant niedriger als der Mittelwert aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633$ nm zu $\lambda_{\max} = 456$ nm ($\Delta M = 4,4$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,03$). Bei Bestrahlung der Dugesien mit $\lambda_{\max} = 678$ nm und $\lambda_{\max} = 512$ nm ergibt sich eine Verteilung von 22,4 zu 9,6 (Tabelle 44, K; Abb. 32, I). Hier besteht allerdings kein signifikanter Unterschied zu den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678$ nm und $\lambda_{\max} = 456$ nm ($\Delta M = 2,9$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,06$). Stehen die Spektralbereiche mit $\lambda_{\max} = 633$ nm und $\lambda_{\max} = 557$ nm zur Wahl, befinden sich nach einer Stunde durchschnittlich 10,2 von 32 Dugesien im langwelligeren Bereich (Tabelle 44, L; Abb. 32, K). Das Ergebnis entspricht praktisch dem Mittelwert 10,4 aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633$ nm / $\lambda_{\max} = 512$ nm. Erwartungsgemäß liegt zu den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633$ nm / $\lambda_{\max} = 456$ nm ein signifikanter Unterschied vor ($\Delta M = 4,4$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,27$). Bei Zurwahlstellung der Spektralbereiche mit $\lambda_{\max} = 678$ nm $\lambda_{\max} = 557$ nm begeben sich durchschnittlich 20,9 Dugesien in das langwelligere Gebiet (Tabelle 44, M; Abb. 32, L). Der Mittelwert liegt etwas über dem Mittelwert aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678$ nm / $\lambda_{\max} = 512$ nm ($\Delta M = 1,5$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,51$); kein signifikanter Unterschied. Er ist aber verschieden von den Mittelwerten aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678$ nm / $\lambda_{\max} = 456$ nm ($\Delta M = 4,4$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,76$). Stehen sich die Spektralgebiete mit $\lambda_{\max} = 633$ nm und $\lambda_{\max} = 584$ nm gegenüber, kriechen 21,7 Tiere ins Gebiet der langwelligeren Strahlung (Tabelle 44, N; Abb. 32, M). Das gleiche ergibt sich aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633$ nm und $\lambda_{\max} = 512$ nm. Somit besteht auch kein statistisch zu sichernder Unterschied zu den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 633$ nm / $\lambda_{\max} = 456$ nm ($\Delta M = 4,3$; $\sigma_{\text{Diff.}t} = 3,27$).

Können die Dugesien schließlich zwischen den Spektralbezirken mit $\lambda_{\max} = 678$ nm und $\lambda_{\max} = 584$ nm wählen, ergibt sich eine Verteilung

lung von 20 zu 12 (Tabelle 44, 0; Abb. 32, N). Die Mittelwerte liegen etwas anders als die Mittelwerte aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$ / $\lambda_{\max} = 557 \text{ nm}$, es besteht aber kein signifikanter Unterschied ($\Delta M = 0,9$; $\sigma_{\text{Diff} \cdot t} = 3,86$). Zu den Mittelwerten aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$ / $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ liegt auch kein signifikanter Unterschied vor ($\Delta M = 2,4$; $\sigma_{\text{Diff} \cdot t} = 3,20$), im Gegensatz zu den Mittelwerten aus den Versuchen mit $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$ / $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ ($\Delta M = 5,3$; $\sigma_{\text{Diff} \cdot t} = 3,46$).

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, daß Dugesia gonoccephala auf fast monochromatische Strahlung in gleicher Weise reagiert, wie auf größere, kontinuierliche Spektralbereiche. Bis zum Spektralbereich mit $\lambda_{\max} = 633 \text{ nm}$ wird die kurzwelligere Strahlung gemieden. Die Bereiche mit $\lambda_{\max} = 456 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 512 \text{ nm}$ werden, gleichzeitig eingestrahlt, nicht mehr signifikant voneinander unterschieden. Ebenso verhält es sich mit den Spektralbereichen mit $\lambda_{\max} = 633 \text{ nm}$ und $\lambda_{\max} = 678 \text{ nm}$. Daß diese Spektralbereiche aber auch die gleiche physiologische Reizwirkung zeigen, wenn sie jeweils den anderen Bereichen gegenübergestellt werden, beweist, daß die Spektrallinien 633 nm und 678 nm das eigentliche spektrale Präferendum einschließen.

Im übrigen gilt auch hier das oben über die spezifische Wirkung der Spektralbereiche Gesagte, wobei 2 oder 3 Nachbarbereiche, die untereinander signifikant getrennt werden können, einem anderen, außerhalb liegenden Spektralbereich gegenüber häufig in ihrer physiologischen Reizwirkung gleich sind.

	A		B		C		D	
$\lambda_{\max}$ in nm	456	512	456	557	456	584	456	633
$\bar{x} / \bar{y}$	14,1	17,9	14,0	18,0	12,5	19,5	6,0	26,0
s	2,86		3,33		2,88		1,82	
t	2,099		1,900		3,840		17,363	

	E		F		G		H	
$\lambda_{\max}$ in nm	456	678	512	557	512	584	557	584
$\bar{x} / \bar{y}$	6,7	25,3	13,1	18,9	10,2	21,8	13,0	19,0
s	2,16		1,61		2,28		3,19	
t	13,606		5,692		8,039		2,940	

	I		J		K		L	
$\lambda_{\max}$ in nm	633	678	512	633	512	678	557	633
$\bar{x} / \bar{y}$	14,6	17,4	10,4	21,6	9,6	22,4	10,2	21,8
s	3,31		2,06		1,78		2,22	
t	1,337		8,534		11,290		8,256	

	M		N		O	
$\lambda_{\max}$ in nm	557	678	584	633	584	678
$\bar{x} / \bar{y}$	11,1	20,9	10,3	21,7	12,0	20,0
s	2,64		2,26		2,31	
t	5,869		7,976		5,476	

Tabelle 44 I - O.

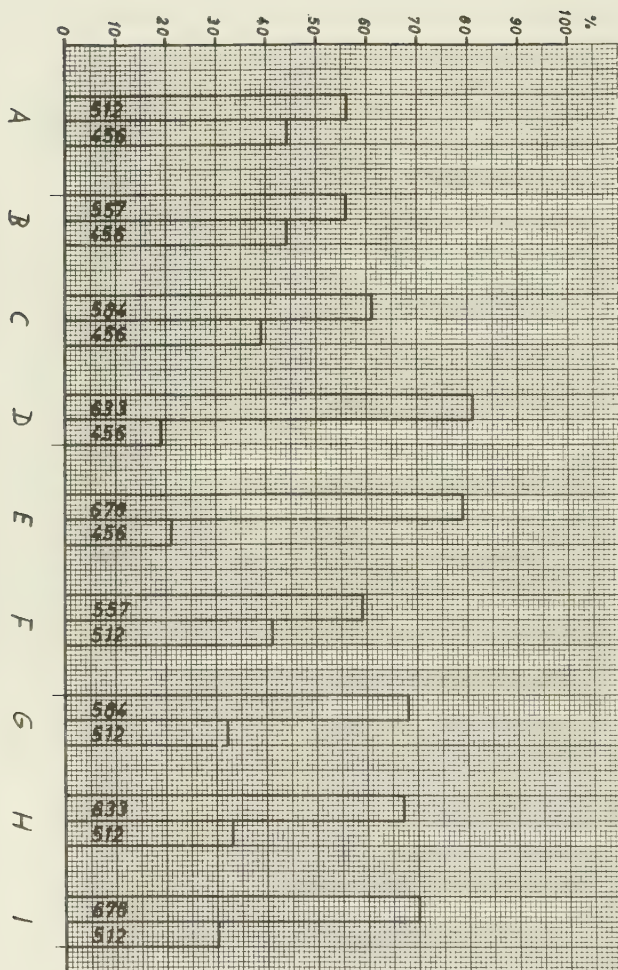


Abb. 32. Säulendiagramm der prozentualen Verteilung der *Dugesiagonocephala* bei Gegenüberstellung von jeweils zwei fast monochromatischen Spektralbezirken (Metallinterferenzfilter). Die Zahlen in den Säulen bezeichnen die Maxima ($\lambda_{\max}$ der Filter). Strahlungsenergie $I = 0,27 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

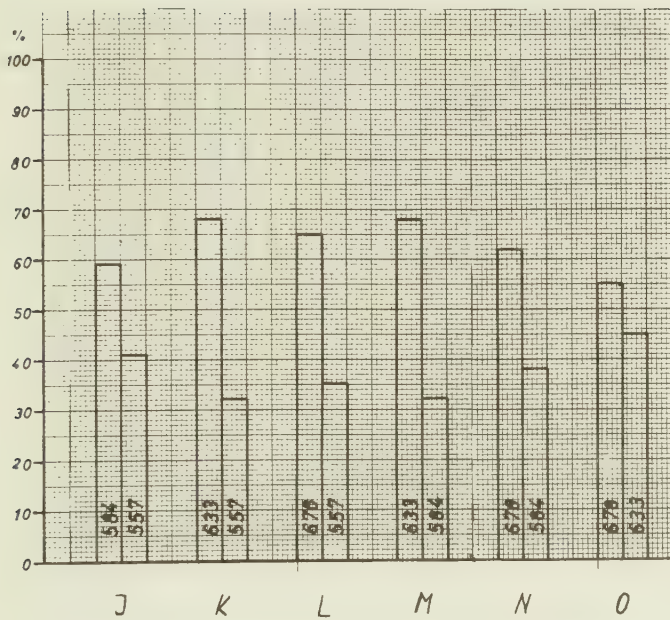


Abb. 32 (Fortsetzung).

Legende s. S. 76.

C. Untersuchungen über die Bewegungsgeschwindigkeit.

Wie in der Einführung bereits erwähnt wird, ist die Lokomotionsgeschwindigkeit der Tricladen in ihrer Abhängigkeit von Licht und Dunkelheit schon von einigen Autoren untersucht worden. Ein Vergleich aller Ergebnisse läßt noch keine eindeutige Entscheidung zu. Die von G. VIAUD (1950) untersuchten Tricladen weisen eine vom Langwelligen zum Kurzwelligen hin ansteigende Lokomotionsgeschwindigkeit auf und damit einen zunehmenden Grad negativer Phototaxis. Nach diesen Untersuchungen scheint ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen Bewegungsgeschwindigkeit und phototaktischer Einstellung und auch dem präferendalen Verhalten bei *Phagocata* (= *Fonticola*) zu bestehen. Es ist nun naheliegend zu untersuchen, inwieweit die Kriechgeschwindigkeit der *Dugesia gonocephal*a und die gesamte durch Muskelkontraktion verursachte Bewegungsaktivität in gemiedenen Spektralbereichen anders ist als in bevorzugten Bereichen. In der VIAUD'schen Arbeit werden die Tricladen in einer Glasröhre zu einer mehr oder weniger geradlinigen Fortbewegung veranlaßt (G. VIAUD, 1950). Da die Dugesien aber neben einer ortsverändernden Fortbewegung zahlreiche Bewegungen machen, die sich in Prüf- oder Suchbewegungen des Vorderkörpers äußern, scheint es angebracht, die gesamte Bewegungsaktivität zu berücksichtigen. Zu den Versuchen werden die Tiere in weiße Porzellanschalen gegeben. Die Bestrahlung erfolgt mit diffusem Licht von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, das entspricht dem Wert der Ausgangsenergie bei den Farbfilterversuchen. In bestimmten Zeitabständen werden photographische Aufnahmen von der jeweiligen Verteilung der Tiere gemacht. Zu diesem Zweck ist schräg über der Haltevorrichtung für die Glühlampenfassungen und die Farbfiltergläser eine Spiegelreflexkamera angebracht und in geringer Entfernung hinter derselben ist ein Elektronenblitzgerät aufgestellt. Die Blitzdauer dieses Gerätes beträgt $1/1000$ Sekunde. Inwieweit die hohe Lichtenergie des Blitzgerätes innerhalb $1/1000$ Sekunde dabei von entscheidender Bedeutung ist, kann zunächst unberücksichtigt bleiben, da ein solcher etwaiger Einfluß sowohl bei den Kontrolltieren als auch bei den Versuchstieren in gleichem Maße auftritt. Zur Vermeidung zusätzlich einfallenden Streulichtes werden die Glühlampen mit einem schwarzen Pappmantel umkleidet. Die Versuche werden in

einem verdunkelten Raum ausgeführt. Es wird besonders darauf geachtet, daß die Wassertemperatur in den Schalen sich nicht verändert ($T \approx 20,6^{\circ}\text{C}$).

Zunächst soll geprüft werden, ob sich in der Verteilungsgeschwindigkeit der Dugesien ein Unterschied bei der Einstrahlung von RG2-Licht und OG5-Licht ergibt. Die Ergebnisse werden in der Weise ausgewertet, daß die Photoaufnahmen in gleichem Maßstab auf Millimeterpapier projiziert und nachgezeichnet werden. Zu beiden Versuchen werden jedesmal 3 große Dugesien (a, b, c; a₁, c₁, d₁), eine mittelgroße (d bzw. b₁) und eine kleine (e; e₁) herangezogen. Es werden eine Aufnahme zu Versuchsbeginn, dann 8 Aufnahmen im Abstand von je 10 Sekunden gemacht. Die Abbildungen 33a und 34a zeigen die Verteilung zu Versuchsbeginn, nach 50 Sekunden und nach 80 Sekunden. In den Abbildungen 33b und 34b sind die einzelnen Bewegungsstadien am gleichen Tier von der ersten Aufnahme zu Versuchsbeginn bis zur 9. Aufnahme nach 80 Sekunden aufgezeichnet und der Übersicht wegen auf das doppelte vergrößert. Beim Überprüfen der Abbildungen 33b und 34b fällt zunächst auf, daß sich die Dugesien im OG5-Licht über eine viel größere Fläche bewegen als im RG2-Licht, was also bereits eine erhöhte Lokomotionsgeschwindigkeit unter dem Einfluß der Strahlung mit den kurzwelligeren Anteilen beweist. Der RG2- Versuch macht besonders deutlich, daß die „zurückgelegten Wegstrecken“ kein Maß für die gesamte Bewegungsaktivität darstellen. Für den Fall a ergäbe sich z. B. nach Ausmessen der Schleimspuren nur eine minimale Ortsveränderung. Nach Einschalten des Rotlichtes verharrt die Dugesie 30 Sekunden in Ruhe, um dann mit den vorderen 2/3 des Körpers Such- und Prüfbewegungen (vgl. G. LEMKE, 1935) nach drei verschiedenen Seiten auszuführen. Auch die Exemplare b und c führen zahlreiche Prüfbewegungen aus und es kommt zu einer geringen Ortsveränderung. Die mittelgroße Dugesie zeigt nach anfänglich geringer Bewegung bis zur 6. Kontrolle Prüfbewegungen, dann kommt es zum lebhaften Kriechen. Das kleine Tier schließlich zeigt anfänglich geringe, dann sehr lebhafte Bewegung. Die OG5- Tiere lassen, wenigstens in den letzten Stadien, alle eine lebhafte Bewegung erkennen. Die Tiere a, c und d haben anfangs eine nur zögernde Lokomotion, die durch Prüfbewegungen unterbrochen wird. Bei d tritt nach kurzer, sehr lebhafter

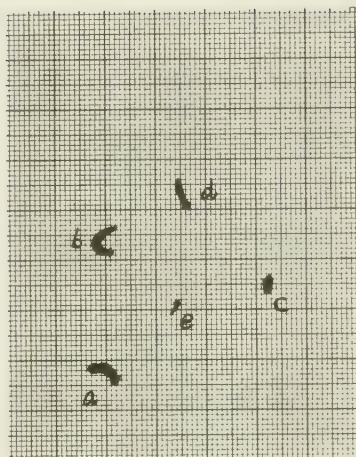
Bewegung im Stadium 6 eine Ruheperiode ein. Die mittelgroße Dugesie zeichnet sich durch eine gleichmäßige, geringe Bewegung aus. Das kleine Tier bewegt sich im Anfang etwa ebenso rasch wie das entsprechende RG2- Exemplar, die Bewegung wird aber nach 30 Sekunden sehr stark gesteigert. Im ganzen gesehen läßt sich anhand dieser zwei Versuche zeigen, daß im OG5-Licht größere Flächen überquert werden als im RG2-Licht. Im RG2-Licht äußern sich die Muskelkontraktionen also in erster Linie in Prüfbewegungen, im OG5-Licht hauptsächlich im Abweichen von einer „idealen“, geraden Kriechbahn, soweit für den Kriechvorgang selbst keine reine Cilienbewegung in Frage kommt (R. PEARL, 1903; C. STRINGER, 1917).

In den folgenden Versuchen werden die Tiere 15 Minuten lang an die jeweiligen Spektralbereiche bzw. die Dunkelheit, in denen die Messung vorgenommen werden soll, angepaßt. Die photographischen Kontrollen finden jeweils alle 15 Sekunden statt. In den 4 untersuchten Fällen zeigt die Figur I in Abb. 35 jeweils die Ausgangsverteilung, Figur II die Verteilung nach 15 Sekunden, Figur III nach 30 Sekunden und Figur IV nach 45 Sekunden. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt wie bei den vorher beschriebenen Versuchen. Im übrigen werden die Quadrate ausgezählt, über die sich der Kopf der Tiere bewegt hat, soweit sich eine annähernd geradlinige Fortbewegung feststellen läßt. Ist dies nicht mehr der Fall, muß eine Richtungsänderung angenommen werden. Dabei zeigt sich, daß bei den #G1- und Dunkel- Versuchen mehr Richtungsänderungen auftreten als bei den RG2- und OG5- Versuchen und damit zwangsläufig auch eine Bewegung über größere Flächen stattfindet. Die durchwanderten Flächen lassen jedoch keine deutlichen Unterschiede mehr erkennen. Es läßt sich also folgendes aussagen : Sind die Dugesien 15 Minuten einer bestimmten Strahlung oder der Dunkelheit ausgesetzt, so erfolgen im ungefilterten Glühlampenlicht und in der Dunkelheit offensichtlich noch intensive Bewegungen, d. h. Muskelkontraktionen. Ähnliche Ergebnisse finden G. VIAUD (1950, 1951), E. MERKER und H. GILBERT (1932) bzw. G. LEMKE (1935). *Dugesia gonoccephala* sucht also, wie auch andere Tricladen, die Spektralbereiche präferential auf, in denen die Bewegungsaktivität relativ gering ist. In der Dunkelheit jedoch, die stets signi-

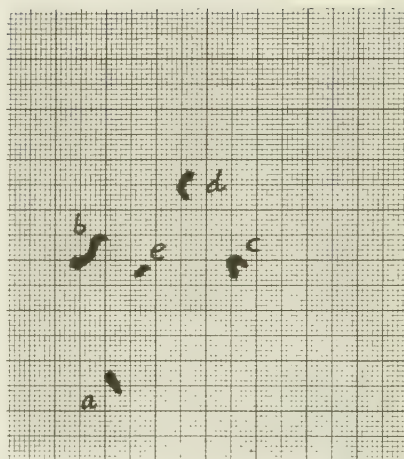
fikant bevorzugt wird, liegt die Bewegungsaktivität höher. Hier besteht offenbar ein Zusammenhang mit der Lebensweise der Tiere. Bereits R. PEARL (1903) spricht von der „nächtlichen Aktivität“ der negativ - phototaktischen Dugesien. Wird die Dunkelheit gegen das Gesamtspektrum mit $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ausgetauscht, bleibt die Aktivität etwa gleich groß, werden dagegen Spektralbereiche mit langwelligeren Anteilen eingeschaltet, ergibt sich eine Verminderung der Aktivität, d. h. das Licht übt dann einen hemmenden Einfluß auf die Tiere aus (vgl. G. VIAUD, 1950, 1951).

D. Einfluß verschiedener Spektralbereiche und der Dunkelheit auf die Regeneration.

Schließlich soll in dem folgenden Abschnitt der Einfluß verschiedener durch Schott-FarbfILTERGLÄSER begrenzter Spektralbereiche auf Wachstum und Entwicklung der *Dugesia gonoccephala* anhand des Regenerationsprozesses untersucht werden. Dazu wird die Regenerationsgeschwindigkeit der Photorezeptoren, hauptsächlich des photodermalen Sinnes, geprüft. Zu den Versuchen werden die Dugesien dicht hinter den Aurikeln dekapitiert. Als Kriterium für den wiederhergestellten Hautlichtsinn wird die Fähigkeit der *Dugesia gonoccephala* benutzt, in einem Lichtgefälle eine nur noch sehr schwach ausgeleuchtete Zone aufzusuchen. Es wird vorausgesetzt, daß an der Kopfspitze und an den Kopfträgern bis in Höhe der Aurikeln eine Kumulation der Hautlichtsinneszellen (wahrscheinlich modifizierte Epidermiszellen) vorliegt. P. STEINMANN (1930) beschreibt eine Sinneslinie bei *Dugesia gonoccephala*, die sich am ganzen Kopf entlang von Aurikel zu Aurikel zieht. Da die Augen nur der Richtungsorientierung dienen und keinen merklichen Einfluß auf die Lokomotionsgeschwindigkeit und die präferendale Einstellung haben, (PARKER u. BURNETT, 1900, cit. G. VIAUD, 1950; G. LEMKE, 1935; G. VIAUD, 1950, 1951; G. HENKE, 1956a; W. THIEMANN, 1957/58), liefert der vor der Bildung neuer funktionsfähiger Augen regenerierende photodermale Sinn schon nach kurzer Zeit aufgrundiedereinsetzender Lokomotion und Einstellung in einem Intensitätsgefälle Aufschlüsse über den Regenera-



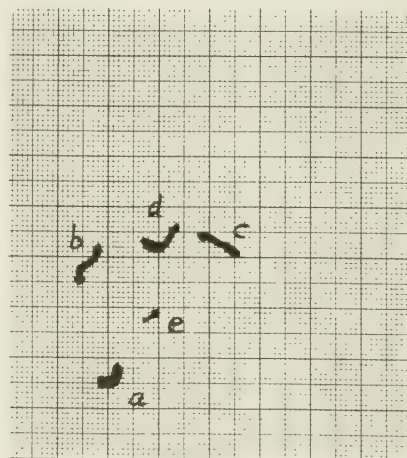
Versuchsbeginn



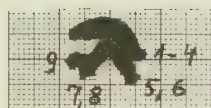
nach 50 Sek.

Abb. 33a.

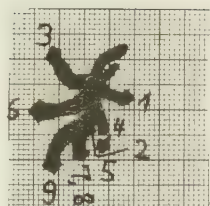
Verteilung der Dugesien zu
Versuchsbeginn, nach 50 Sek.
und nach 80 Sek. unter dem
RG2-Spektrum.



nach 80 Sek.



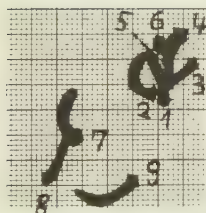
a



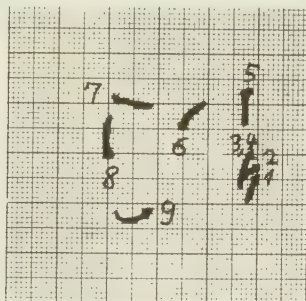
b



c



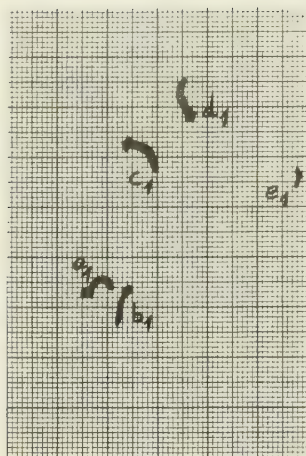
d



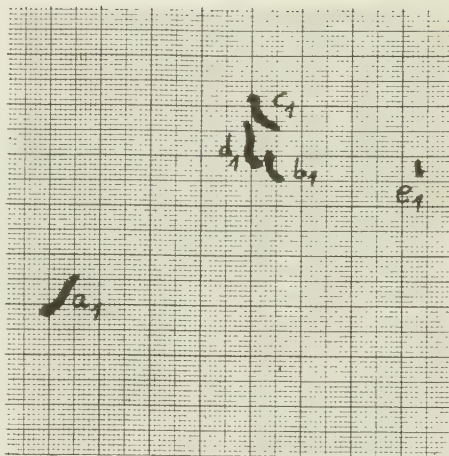
e

Abb. 33b.

Bewegungsstadien der Tiere a - e vom Beginn der Beobachtung (1) bis nach 80 Sek. (9) unter dem RG2-Spektrum.



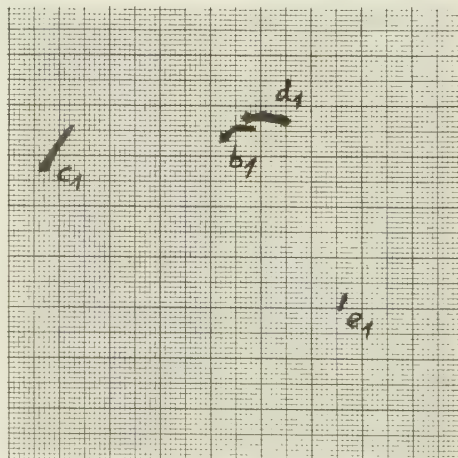
Versuchsbeginn



nach 50 Sek.

Abb. 34a.

Verteilung der Dugesien zu
Versuchsbeginn, nach 50 Sek.
und nach 80 Sek. unter dem
Og5-Spektrum.



nach 80 Sek.

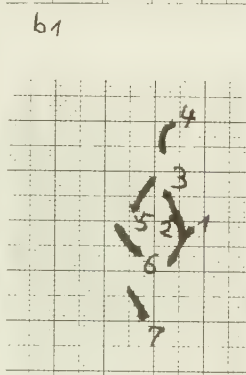
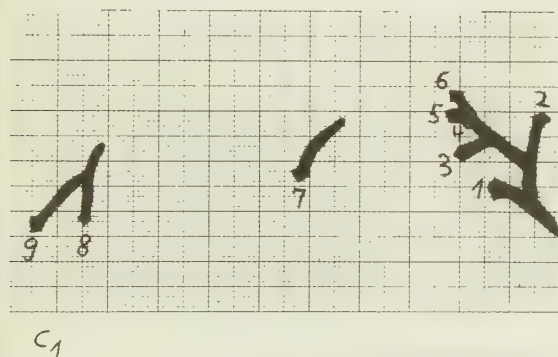
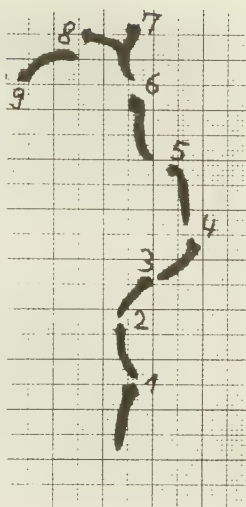
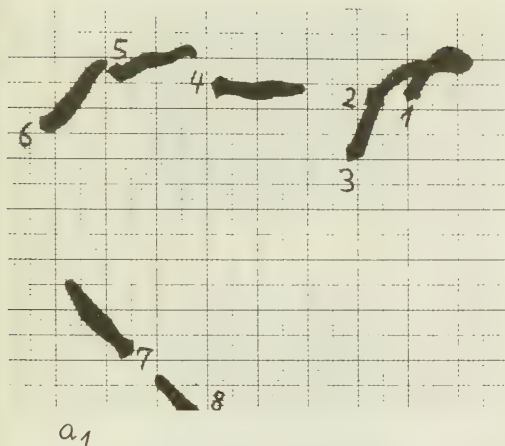
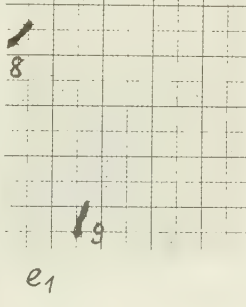
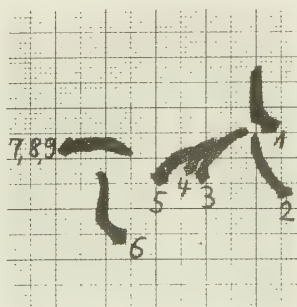


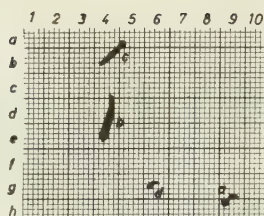
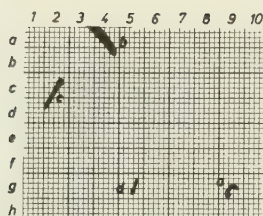
Abb. 34b.

Bewegungsstadien
der Tiere a₁ - e₁
vom Beginn der Be-
obachtung (1) bis
nach 80 Sek. (9)
unter dem OG5-
Spektrum.

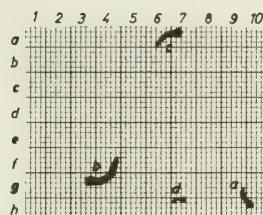


d₁

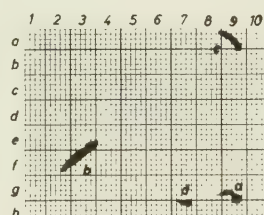
e₁



III

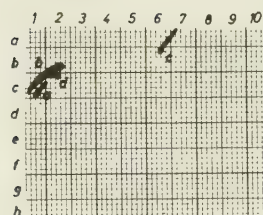


IV

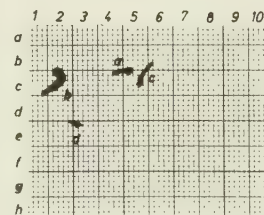


Dunkel

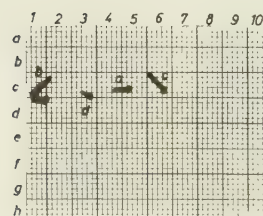
I



II



III



IV

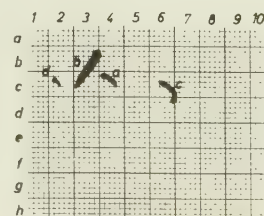
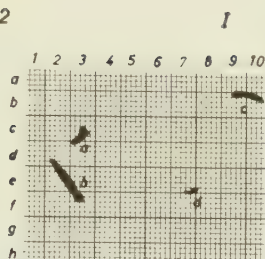
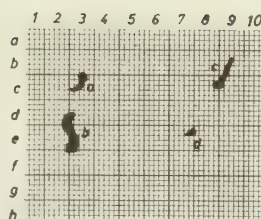


Abb. 35. (Erklärung im Text)

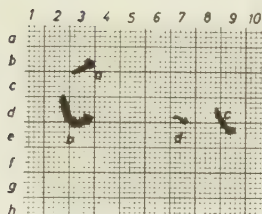
RG2



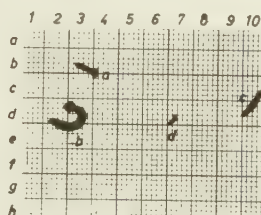
II



III



IV

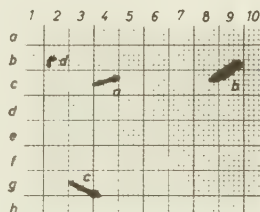


OG5

I



II



III



IV

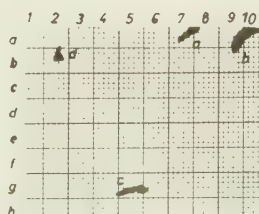


Abb. 35., Forts. (Erklärung im Text)

tionsgrad. Zur Erhärtung dieser Befunde könnte der Regenerationsgrad der Augen und des ganzen Kopfes zu einem späteren Zeitpunkt an der Bildung der Augenpigmentflecke gemessen werden. Das Entstehen neuer Augenpigmentflecke bei *Dendrocoelum lacteum* bezeichnet P.B. ŠIVICKIS (1931) als „einen guten Anzeiger für die Regenerationsfähigkeit eines Stückes“. Auch M.M. ABELOOS (1927, 1930) nahm den Zeitpunkt der Bildung der schwarzen Augenpigmentflecke der Süßwassertricliden als Kriterium für den jeweiligen Regenerationsgrad; ebenso E. MERKER und H. GILBERT (1932), G. LEMKE (1935), C. BONDI (1956), L.J. TÖRÖK (1958) und S. KOLMAYER u. F. STÉPHAN-DUBOIS (1960). Zur Untersuchung des Regenerationsgrades des Hautlichtsinnes werden die unter Narkotisierung mit 2%-iger Urethanlösung dekapitierten Dugesien sofort in weiße Porzellanschalen gegeben und, unter den gleichen Bedingungen wie in den orientierenden Vorversuchen, 20 Stunden lang der Dunkelheit bzw. den einzelnen Spektralbereichen ausgesetzt. Die Strahlungsenergie entspricht auch hier, um einen späteren Vergleich zuzulassen, der Ausgangsenergie von $71 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Nach Ablauf der 20 Stunden werden die Tiere in eine Flexiglasschale von $40 \times 30 \text{ cm}$ gegeben, die bis $1,5 \text{ cm}$ Höhe mit Wasser gefüllt ist. Die Schale ist durch Zwischenwände so abgeteilt, daß 4 Abteilungen von $10 \times 30 \text{ cm}$ entstehen. In jeder dieser 4 Abteilungen wird ein Lichtgefälle erzeugt und kann so zur Testung des regenerierenden Hautlichtsinnes dienen. Auf dem vorderen Drittel jeder Abteilung steht ein Lampenkasten mit einer 60-Watt - Glühlampe. Der Schalenboden wird direkt unter der Lampe von einer Strahlungsenergie von etwa $1000 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2$ getroffen. Die anderen $2/3$ der Schalenabteilung sind mit einem schwarz überklebten Glasdeckel versehen. So entsteht ein Lichtintensitätsgefälle mit der stärksten Intensität unmittelbar unter der Lampe und der geringsten Intensität am hinteren Rand des letzten Drittels der Abteilung. Der Boden und die Wände sind einmal zur Vermeidung von Spiegelungen der Lichtquelle, dann zum Ermöglichen einer guten Beobachtung der Dugesien bei der Kontrolle, mit weißer Kunststoff-Folie ausgelegt. Die Schale wird, ähnlich wie die Schalen bei den Versuchen über die präferendale Einstellung, mit Hilfe einer Haltevorrichtung in ein wasserbad getaucht. Die Temperatur des wasserbades wird auf etwa

19 °C gehalten, die Wassertemperatur in der Schale beträgt 20,8 °C (+ 0,4 °C / - 0,1 °C). Eine starke Zirkulation des Wasserbades sorgt dafür, daß infolge der Wärmestrahlung der Glühlampe über dem ersten Drittel der Abteilung, kein größeres Temperaturgefälle im Wasser der Schalen besteht.

Zur Prüfung der Hautlichtsinnesreaktion werden die Dugesien in das hell ausgeleuchtete vordere Drittel ausgesetzt. Nach einer Stunde wird festgestellt, wieviele Tiere die helle Zone verlassen und sich in die Regionen geringer Helligkeit begeben haben. Zunächst werden zur Kontrolle ein paar Versuche mit frisch dekapierten Dugesien durchgeführt, die zeigen, daß die Tiere noch nach einer Stunde an der hellen Einsetzungsstelle liegen. Intakte Dugesien sind nach der gleichen Zeit praktisch alle nach der dunkelsten Region gekrochen, wenn sie 20 Stunden lang den verschiedenen Spektralbereichen, oder auch der Dunkelheit, ausgesetzt waren. Der Regenerationsgrad des photodermalen Sinnes wird an insgesamt 1320 Dugesien geprüft. 4 Untersuchungen mit je 12 Versuchen (in einem Falle 18 Versuche) werden unter Anwendung von Dunkelheit, RG8-, RG2-, OG5- und „WG1“ - Licht angestellt. Pro Versuch sind 20 Dugesien ausgesetzt.

Bei 20-stündiger Regeneration in der Dunkelheit ergibt sich, daß im Durchschnitt 10,7 Dugesien an der hellen Einsetzungsstelle bleiben und 9,3 Dugesien die Dunkelzone aufsuchen, und zwar meist die von der Lichtquelle am entferntest liegende Stelle der Abteilung (Tabelle 45; Abb. 36). Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die beiden Mittelwerte nicht signifikant zu unterscheiden. Es ist also zu diesem Zeitpunkt bei rund 50 % der Dugesien eine Regeneration des photodermalen Sinnes abgeschlossen.

Die mit „WG1-Licht“ behandelten *Dugesia gonoccephala* reagieren im Lichtgefälle folgendermaßen : Die Prüfung nach einer Stunde zeigt, daß 7,9 Tiere an der hellen Einsetzungsstelle und 12,1 Tiere in den dunklen Bereichen liegen, auch hier wieder überwiegend an der lichtfernsten Stelle (Tabelle 46; Abb. 36). Aufgrund des statistisch zu sichernden Unterschieds zwischen den beiden Mittelwerten läßt sich die Aussage machen, daß hier etwa 65 % der Dugesien einen regenerierten Hautlichtsinn haben. Das sind signifikant mehr Tiere als bei den Dunkel - Versuchen ($\chi^2 = 12,04$; $P < 0,1 \%$).

Die OG5- Tiere lassen eine Regeneration des photodermalen Sinnes bei 14,6 von 20 Tieren erkennen, d. s. 73 % (Tabelle 47; Abb. 36). Von den RG2- bestrahlten Dugesien begeben sich durchschnittlich 16,2 (81 %) nach der Dunkelzone (Tabelle 48; Abb. 36); von den RG8- bestrahlten Tieren sind es 15,9, d. s. 80 % (Tabelle 49; Abb. 36). Die Mittelwerte deuten auf eine höhere Regenerationsrate der OG5-, RG2- und RG8- bestrahlten Dugesien gegenüber dunkel- und „WG1“- behandelten Dugesien hin. Alle drei Mittelwerte liegen signifikant höher als die drei Mittelwerte aus den Dunkel- Versuchen. Der χ^2 - Wert beträgt für D/OG5 41,34; $P < 0,1 \%$; für D/RG2 liegt der χ^2 - Wert 73,12, $P \ll 0,1 \%$. Auch für D/RG8 ist der Unterschied hoch signifikant. Man erhält ein χ^2 von 65,93; $P \ll 0,1 \%$.

Die Mittelwerte aus den WG1- Versuchen sind von den Resultaten aus den OG5- Versuchen mit $\chi^2 = 7,91$ und $P > 1 \%$ nicht signifikant verschieden. Im Gegensatz dazu stehen die Mittelwerte aus den RG2- und RG8- Versuchen, die auch von den WG1- Mittelwerten signifikant zu unterscheiden sind. Es ergibt sich für WG1/RG2 ein χ^2 von 24,31, P beträgt $< 1 \%$. Der χ^2 - Wert für WG1/RG8 ist 20,17 und P wiederum $< 1 \%$. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten aus den OG5- Versuchen und den Mittelwerten aus den RG2- bzw. RG8- Versuchen; $\chi^2 = 4,72$, $P > 1 \%$; $\chi^2 = 2,95$, $P \approx 10 \%$.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Regeneration des photodermalen Sinnes unter Einwirkung des OG5-, RG2- und RG8-Lichtes bei einer Strahlungsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und einer Wassertemperatur von $\approx 20,6^\circ\text{C}$ begünstigt, im ungefilterten Licht gleicher Energie jedoch, noch mehr aber in der Dunkelheit verzögert wird. Der Zeitpunkt des Kriechbeginns ist mit dem Zeitpunkt des Beginns der Hautlichtsinnesregeneration anzusetzen.

Wie sind nun die Verhältnisse bei der Regeneration der Augenpigmentflecke ? Eine Anzahl orientierender Versuche gibt einen Hinweis auf den Zeitpunkt, an dem die Augenpigmentflecke zum ersten Mal sichtbar werden. Unter dem Einfluß der Dunkelheit und verschiedener Spektralbereiche, aber sonst gleichen Versuchsbedingungen, stellt sich heraus, daß nach einem Zeitraum von 72 Stunden bereits in vielen Fällen Augenpigment gebildet worden ist. Nach 76 Stunden haben die meisten und nach 96 Stunden alle Duge-

Nr.	hell	dunkel
1	12	8
2	14	6
3	13	7
4	15	5
5	8	12
6	11	9
7	10	10
8	13	7
9	10	10
10	10	10
11	7	13
12	11	9
13	10	10
14	9	11
15	11	9
16	10	10
17	8	12
18	11	9
$\bar{x} / \bar{y}$	10,7	9,3
s	2,11	
t	1,406	
t_d	2,90	
d	1%	

Tabelle 45.

Verteilung der unter dem Einfluß der Dunkelheit regenerierten Dugesien im Lichtgefälle.

Nr.	hell	dunkel
1	4	16
2	11	9
3	8	12
4	10	10
5	11	9
6	9	11
7	7	13
8	8	12
9	8	12
10	3	17
11	7	13
12	8	12
$\bar{x} / \bar{y}$	7,9	12,1
s	2,44	
t	2,978	
t_d	3,11	
d	1%	

Tabelle 46.

Verteilung der unter dem Einfluß des ungefilterten Glühlampenlichtes regenerierten Dugesien im Lichtgefälle

Nr.	hell	dunkel
1	2	18
2	7	13
3	4	16
4	7	13
5	7	13
6	5	15
7	5	15
8	5	15
9	8	12
10	3	17
11	6	14
12	6	14
$\bar{x} / \bar{y}$	5,4	14,6
s	1,78	
t	8,942	
t_{α}	3,11	
α	1%	

Tabelle 47.

Verteilung der unter dem Einfluß des OG5-Lichtes regenerierten Dugesien im Lichtgefälle.

Nr.	hell	dunkel
1	5	15
2	1	19
3	4	16
4	3	17
5	7	13
6	4	16
7	4	16
8	1	19
9	3	17
10	4	16
11	3	17
12	6	14
$\bar{x} / \bar{y}$	3,8	16,2
s	1,77	
t	12,120	
t_{α}	3,11	
α	1%	

Tabelle 48.

Verteilung der unter dem Einfluß des RG2-Lichtes regenerierten Dugesien im Lichtgefälle.

Nr.	hell	dunkel
1	4	16
2	6	14
3	6	14
4	5	15
5	3	17
6	4	16
7	3	17
8	4	16
9	1	19
10	6	14
11	4	16
12	3	17
$\bar{x} / \bar{y}$	4,1	15,9
s	1,51	
t	13,519	
t_{α}	3,11	
α	1%	

Tabelle 49.

Verteilung der unter dem Einfluß des RGS-Lichtes regenerierten Dugesien im Lichtgefälle.

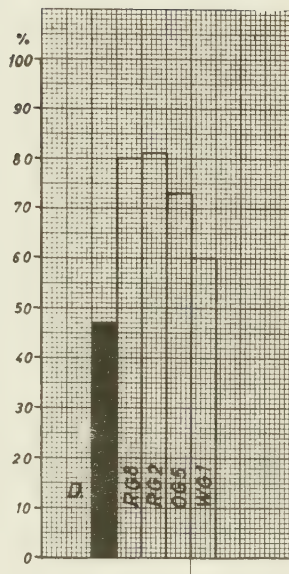


Abb. 36.

Prozentzahlen der in die Dunkelheit abgewanderten Tiere im Säulendiagramm.

sien Augenpigment regeneriert. Anfangs zeigen sich deutliche Unterschiede im Regenerationsgrad bei Einwirkung der unterschiedlichen Spektralbezirke und der Dunkelheit. Im Kurzwelligen und in der Dunkelheit scheint die Regeneration verzögert zu sein. Die Bildung des Körperpigmentes tritt, zum Vergleich, immer später ein und die Aurikel sind im allgemeinen erst dann regeneriert, wenn die Augen fast völlig wiedergebildet worden sind. Wichtig ist, daß die Regeneration von Augen- und Körperpigment, der Aurikel und auch, wie mikroskopische Prüfungen erkennen lassen, des Cerebralganglions unter gleichen Bedingungen stets in gleicher Reihenfolge stattfindet. Abb. 37 zeigt schematisch die durchschnittliche Kopfregeneration einer *Dugesia gonocephala* unter der Einwirkung von Dunkelheit (a) und des RG2-Lichtes (b) nach gleicher Einwirkungsdauer. Besonders unter dem Einfluß hoher Energie der Spektralbereiche mit kurzwelligen Anteilen kommt es zur „Pigmentfleckigkeit“ und mikroskopische Untersuchungen zeigen, daß im Verdauungssystem Einschlüsse von Pigment- und Rhabditensubstanz vorhanden sind. In einigen Fällen kommt es zur anfänglichen Bildung von einer oder zwei überzähligen Augenanlagen, die aber im Laufe der Zeit mit der weiteren Entwicklung wieder rückgebildet werden. Im Zusammenhang mit anderen Fragestellungen haben verschiedene Autoren ähnliche Beobachtungen gemacht. So erwähnt z. B. E. JÄNICHEN (1897), daß bei *Dugesia gonocephala* häufig „Nebenaugen“ zu beobachten sind. Überzählige Augen bei regenerierenden *Dendrocoelum lacteum* stellte E. SCHULTZ (1902) fest. Die eigene Beobachtung, daß kleine Dugesien rascher regenerieren als große, bestätigt die Befunde von C.M. CHILD (1921), M.M. ABELOOS (1930) und P.B. ŠIVICKIS (1933). CHILD macht dabei allerdings einen Unterschied zwischen Körpergröße und physiologischem Alter, wonach die Tricladen von geringem physiologischem Alter rascher regenerieren als die Tiere von höherem physiologischem Alter.

Zur statistischen Prüfung des Unterschieds in der Regenerationsgeschwindigkeit der Augenpigmentflecke werden abschließend drei Versuchsreihen mit 6 Einzelversuchen durchgeführt. Dazu werden die Dugesien in die gleichen Plexiglaschalen ausgesetzt, die für die Versuche über die präferendale Einstellung benutzt worden

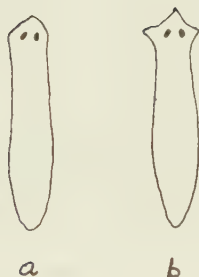


Abb. 37. Einfluß der Dunkelheit (a)
und des RG2- Lichtes (b) auf die
Kopfregeneration.

sind. 74 Stunden lang wirkt auf die eine Gruppe die Dunkelheit ein, auf die andere RG8-Licht von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Während dieser Zeit wird der Versuch einmal zur Erneuerung des Wassers in den Schalen unterbrochen. Nach Ablauf der angegebenen Zeit wird untersucht, bei welchem Prozentsatz der Tiere Augenpigmentflecke gebildet worden sind. Wie aus Tabelle 50 hervorgeht, zeigen nach 74 Stunden im Durchschnitt $79,3\%$ der RG8- Tiere und $48,2\%$ der Dunkel- Tiere Augenpigmentflecke. Beide Werte sind signifikant verschieden.

Wie die Regeneration des Hautlichtsinnes wird also die Regeneration des Augenpigmentes - und damit der Augen selbst - in einem langwelligen Spektralbereich im Vergleich zur Dunkelheit statistisch sicher gefördert.

Nr.	RG8	D.
1	37 von 50 = 74 %	24 von 50 = 48 %
2	34 von 43 = 79,1 %	22 von 43 = 51,1 %
3	28 von 33 = 84,8 %	15 von 33 = 45,5 %
M	79,3 %	48,2 %
σ	5,40	2,80
σM	3,07	1,61
$\sigma M \cdot t$	58,97	30,93
ΔM	31,1	
σDiff	3,38	
$\sigma \text{Diff} \cdot t$	22,38	

Tabelle 50.

Prozentsatz der Dugesien mit regeneriertem Augenpigment, die 74 Stunden lang dem RG8-Licht mit einer Strahlungsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ bzw. der Dunkelheit ausgesetzt waren.

IV. Besprechung der Ergebnisse.

Die vorliegenden Ergebnisse über das präferendale Verhalten und die Bewegungsaktivität zeigen zunächst, daß *Dugesia gonocephala* stets das Gebiet präferendal aufsucht, welches gemäß der Empfindlichkeitskurve des Hautlichtsinnes die geringste physiologische Reizwirkung hat und in welchem die Bewegungsaktivität ein Minimum aufweist. Das steht in Einklang mit der G. VIAUD (1950) in Bezug auf die Lichtreaktionen anderer Tricladen definierten „photopathischen Kapazität“.

Wie die Versuche mit fast monochromatischer Strahlung beweisen, ist es in den größeren Spektralbereichen immer die spektrale Differenz zum Nachbarbereich, welche die spezifische Reaktion festlegt, der übrige, langwellige Anteil ist dabei ohne Einfluß. Interessanterweise wird in keinem Fall ein Gebiet von allen Dugesien präferendal aufgesucht. Dies geschieht nur bei Kontrollversuchen mit intakten Tieren, wenn die Strahlungsenergie den 15-fachen Betrag der Ausgangsenergie überschreitet.

Im allgemeinen ist es so, daß es bei Gegenüberstellung von langwelligeren Spektralbereichen (Rot) mit kurzwelligeren Bereichen zu einer Verteilung von ungefähr 85 % zu 15 % kommt, bei Gegenüberstellung von Nachbarbereichen meist zu einer Verteilung von etwa 65 % zu 35 %. Das läßt vermuten, daß *Dugesia gonocephala* auf Einstrahlung einer Energie, die keine äußerlich feststellbaren pathogenen Veränderungen hervorruft, zwar noch empfindlich reagiert, die Reizgröße aber nicht ausreicht, um alle Tiere zu einer lebhaften Bewegung anzuregen. Dabei wird von einigen Tieren sehr wahrscheinlich kein wesentlicher Reizunterschied wahrgenommen. Es dürfte sich dann um „physiologisch ältere“ und unempfindlichere Dugesien handeln. Wenn ein Präferendum, das ein bestimmter Spektralbereich oder die Dunkelheit sein kann, von allen Tieren aufgesucht werden soll, muß die Strahlungsenergie auf der Gegenseite stets $> 71 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ sein.

Da sich die einzelnen Spektralbereiche zwar vielleicht in Bezug auf das Augensehen, nicht aber in Bezug auf die Hautlichtsinnesempfindlichkeit mit bestimmten Helligkeitsstufen, wie sie von A. ERHARDT (1932) und G. LEMKE (1935) angenommen werden, identifizieren lassen, wäre die Frage zu diskutieren, ob im Falle

einer präferendalen Einstellung zwischen 2 Spektralbereichen gleicher Energie überhaupt ein phototaktisches Verhalten im eigentlichen Sinne vorliegt. Eine Telotaxis dürfte insofern ausscheiden, als das Streulicht in den gleichmäßig ausgeleuchteten Versuchsschalen kaum eine Möglichkeit zur Ziel- oder Fixierbewegung gibt. Es wäre weiterhin zu diskutieren, ob für Tiere mit Augen und photodermalem Sinn der letztere eine phototaktische Einstellung überhaupt ermöglicht.

Die relativ geringe Abhängigkeit der Reaktionen von der Strahlungsenergie läßt in manchen Punkten auch eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen E. BEUTHER's (1925/26) und A. ERHARDT's (1932) zu. Soweit die verschiedenen Tricladen hinsichtlich ihrer Lichtreaktionen einen Vergleich zulassen, zeigen sich in Bezug auf präferendales Verhalten und Bewegungsgeschwindigkeit Berührungspunkte mit den Befunden von G. LEMKE (1935) und G. VIAUD (1950). In unserem Falle sind die Ergebnisse insofern eindeutiger, als es sich um spektral und energetisch genau definierte bzw. aufeinander abgestimmte Strahlungen handelt. Weiterhin werden für die entscheidenden Versuche zur präferendalen Einstellung und zur Analyse der „spezifischen Reizwirkung“ der Spektralbereiche jeweils nur 2 Spektren zur Wahl gestellt, da bei gleichzeitiger Einstrahlung von mehr als zwei Bereichen sich die physiologischen Reizwirkungen gegenseitig „überdecken“. Auf diese Erscheinung wird bei der Besprechung der Vierlichtversuche noch einmal Bezug genommen. Die Befunde von G. HENKE (1956a) über die Photokinese einiger Tricladen ordnen sich nicht ohne weiteres ein. Wahrscheinlich liegen „Überschneidungen“ der Hautlichtsinneskurven mit den Sehkurven vor.

Zur Frage, in welcher Weise der von den Photorezeptoren modifizierten Epidermiszellen aufgenommene Reiz verarbeitet wird, kann wohl gesagt werden, daß dieser über das Nervensystem an die Muskulatur weitergeleitet wird. Schon W. F. EWALD (1910) vermutet anhand von Beobachtungen über die Bewegungsintensität der Cladoceren unter dem Einfluß von Licht, „daß das Licht vermittelt der Photorezeptoren eine tonusregulierende Wirkung auf die Muskulatur der Tiere ausübt“, was auch zum größten Teil in den in der Einführung erwähnten Arbeiten über den stimulierenden Effekt der optischen Strahlung auf den Muskeltonus bestätigt wird. Bei

*Dugesia gonocephal*a bestimmt die Strahlung den jeweiligen Muskeltonus, indem das Glühlampenspektrum bis zu Wellenlängen um 660 nm und das kurzwellige Infrarot, sowie aber auch die Dunkelheit, tonussteigernd wirken.

Den Versuchsergebnissen zufolge sind die Dugesien anfänglich in jedem Strahlungsbereich in lebhafter Bewegung, bis nach etwa 30 Minuten die Bewegungen merklich langsamer werden und nach ungefähr 45 Minuten fast ganz aufhören. Die Dugesien sind also nach dieser Zeit an die Strahlung adaptiert. Es zeigt sich dabei offensichtlich eine Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit von der Reizgröße der einzelnen Bereiche, indem die Adaptation umso eher erfolgt, je geringer die Reizwirkung eines Spektralbereiches ist. Die Wellenlängen um 660 nm haben eine minimale Reizwirkung auf die Dugesien, indem die Bewegungsgeschwindigkeit sehr gering ist und eine schnellere Adaptation eintritt als in allen anderen benutzten Spektralbereichen. In den anderen Spektralbereichen mit größerer physiologischer Reizwirkung zeigen die Dugesien eine erhöhte Bewegungsaktivität, die sich in Suchbewegungen und Lokomotion äußert und die dem Zweck dient, den Organismus möglichst rasch von einem schädigenden Einfluß zu befreien. Für die einzelnen angewandten Spektralbereiche ergibt sich dann, daß im RG2-Licht stets eine beschleunigte Adaptation erfolgt, wenn es den anderen Spektralbereichen gegenübersteht. Im OG5- und RG8-Licht geht die Adaptation rascher vonstatten als im GG11-Licht bzw. dem Gesamtspektrum der Glühlampe. Entsprechend erfolgt bei den Dugesien, die annähernd monochromatisches Licht zur Wahl haben, bis zum Bereich von 584 nm eine verzögerte Adaptation im Kurzwelligen. In der Dunkelheit, die, wie schon angedeutet worden ist, den natürlichen Umweltbedingungen der *Dugesia gonocephal*a am nächsten kommt, ist die Bewegungsaktivität wohl so lange erhöht, bis sie durch einen Gegenreiz kompensiert wird. Dieser kann als chemischer Reiz wirken und das Vorhandensein von Nahrung anzeigen, oder als hemmender Lichtreiz auftreten (WALTER, 1907, zit. S. O. MAST und N. STAHLER, 1937; G. VIAUD, 1950, 1951). Es ist anzunehmen - Kontrollversuche weisen darauf hin (s. o.) - daß die Dugesien nach einigen Stunden mehr und mehr die Dunkelheit verlassen und im Licht zur Ruhe kommen, wenn die Dunkelheit einem Spektralbereich von geringer Strahlungsenergie gegenübergestellt wird.

Es erscheint zunächst überraschend, daß sich die an die Bedingungen des Zuchtaquariums adaptierten Dugesien, selbst wenn die noch so geringe Strahlungsenergie von $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ der Dunkelheit gegenübersteht, zu einem signifikant größeren Teil ins Dunkel begeben. Das ist so zu erklären, daß die Tiere im Zuchtaquarium immer Gelegenheit haben, sich ins Dämmerlicht zu begeben, wenn sie längere Zeit in der Dunkelheit unter Steinen zugebracht haben. Die Dunkelheit wird also offenbar nur dann gemieden, wenn sie über einen längeren Zeitraum von mehreren Stunden eingewirkt hat. Die Dunkelheit wirkt infolge erhöhter Reizwirkung auf die Bewegungsaktivität allmählich pathogen, wenn keine Gelegenheit für die Dugesien vorhanden ist, sich in einen Strahlungsbereich zu begeben, der spektral und energetisch so abgestimmt ist, daß er einen hemmenden Einfluß auf die Bewegung hat. Die 24-stündige Adaptation an das Gesamtspektrum der Glühlampe hat in der Verteilung der Dugesien bei Wahl zwischen RG2- und GG11-Licht nur eine geringe Verschiebung des Verteilungsverhältnisses zur Folge, indem wie bei den Versuchen mit nichtadaptierten Dugesien das GG11-Spektrum immer noch gemieden wird. Das hat wohl seinen Grund darin, daß bei einer geringen Anzahl Dugesien eine „Daueradaptation“ an das „WG1-Licht“ eingetreten ist, die nach Aussetzen in die Versuchsschalen fortwirkt. Dieser Prozentsatz entspricht etwa dem, der sich aus der Gegenüberstellung von langwelliger und kurzwelliger Strahlung ergibt, indem niemals alle Dugesien den kurzwelligen Bereich meiden. Es handelt sich dabei wohl auch hier um die physiologisch älteren Tiere - das müssen nicht unbedingt immer die größten sein - welche infolge geringerer Lichtsinnesempfindlichkeit bereits an einen kurzwelligen Bereich adaptiert werden können, sobald die eingestrahlte Energie nicht mehr pathogen wirkt. Im übrigen geht aus dem Kapitel über die Bewegungsgeschwindigkeit deutlich hervor, daß kleinere Dugesien in gleichen Zeiten wesentlich lebhaftere Bewegungen machen als große. Man könnte mit E. MERKER und H. GILBERT (1932) und E. MERKER (1936) annehmen, daß hier ein Zusammenhang zwischen Lichtwirkung und Größe der getroffenen Flächen besteht nach dem Satz: Je größer der Quotient Körpervolumen / absorbierende Oberfläche wird, desto höher müßte also die Widerstandsfähigkeit sein, am höchsten also bei den großen Tieren. Das dürfte aber nur für primäre, durch kurzwellige Strahlung im

UV hervorgerufene, photochemische Reaktionen von Bedeutung sein. In den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wird wohl der wesentlich intensivere Stoffwechselablauf der noch nicht völlig entwickelten Dugesien eine weit größere Rolle spielen. Das wird wohl auch der Grund für die größere Lichtempfindlichkeit kleiner höhlenbewohnender Ostracoden sein, worüber B. MAGUIRE (1960) berichtet.

Der Vierlichtversuch zeigt deutlich, daß die Dugesien stets ein Gebiet mit großer physiologischer Reizwirkung meiden und sich gleichmäßig auf alle anderen langwelligeren Spektren, unabhängig von deren Grenzwellenlänge, verteilen. Das ist folgendermaßen zu erklären: Zu Versuchsbeginn bewegen sich alle Dugesien gleichmäßig über die Schale. Dabei gelangen die meisten auch in den GG11-Bereich, erfahren dort eine starke physiologische Reizung und beginnen beim Überkriechen der Grenze zu einem langwelligeren Spektralbezirk in dieser Zone mit der Adaptation. Etwas anthropomorph ausgedrückt könnte man etwa so sagen, daß die Dugesien, wenn sie einer „Gefahrenzone“ entkommen sind, in jedem Bereich zur Ruhe kommen, gleichgültig, ob er mehr oder weniger günstig ist.

Nach O. WERNER (1926), C. BAUERS (1953) und W. THIEMANN (1957/58) liegt das eigentliche Präferendum, soweit das Gesamtspektrum einer Lampe geboten wird, bei den Dugesien nicht im Dunkel, sondern im Dämmerlicht. Das scheint im Widerspruch zu den eigenen Ergebnissen zu stehen, indem selbst eine Energie nahe dem Schwellenwert von $0,00006 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ der Dunkelheit gegenüber noch signifikant gemieden wird. Zunächst muß aber festgestellt werden, daß bei den drei erwähnten Arbeiten keine absolute Dunkelheit in den Versuchen zur Wahl stand, sondern nur eine schwach ausgeleuchtete Zone am Ende eines Lichtgefälles. Aus technischen Gründen ist es aber auch nicht möglich gewesen, in den vorliegenden Untersuchungen mit absoluter Dunkelheit zu arbeiten. Aber zumindest bei den Versuchen zur Ermittlung des Schwellenwertes dürfte der mit schwarzer Pappe verdeckte Bereich von den Dugesien als völlige Dunkelheit empfunden worden sein.

Alle angewandten Spektralbereiche werden bei Gegenüberstellung der Dunkelheit gemieden, untereinander zur Wahl gestellt können sie aber spezifische Reizwirkungen auslösen. Dabei läßt sich bei

Energiegleichheit auf beiden Seiten ein bestimmter Spektralbereich (um 660 nm) als „spektrales Präferendum“ abgrenzen. Bei Einstrahlung gleicher Spektralbereiche mit unterschiedlicher Strahlungsenergie kommt es zu einer Einstellung in einem „energetischen Präferendum“. Insgesamt gesehen kann jeder Bereich durch Variieren der eingestrahltten Energie solange ein spektral und energetisch definiertes „Lichtpräferendum“ darstellen, bis die Dunkelheit als übergeordnete Reizgröße gegenübergestellt wird. Da nun andererseits, wie schon angedeutet, Dauerdunkel durchaus schädlich für die Dugesien ist, scheint es nicht angebracht von einem „absoluten“ oder „permanenten“ Licht- bzw. Dunkelpräferendum zu sprechen. Licht und Dunkel als Vorzugsbereich sind demnach, entsprechend den natürlichen Umweltbedingungen der Dugesien, als „temporäre“, d. h. zeitlich begrenzte Präferenda anzusehen. Dauerdunkel dürfte nur für Tiere, die in ständiger Dunkelheit leben, als „absolutes“ Präferendum zu betrachten sein.

Entspricht die Bevorzugung der Dunkelheit dem Verhalten der Tiere in ihrem natürlichen Lebensraum, so liegt die Frage nahe, wie sich die unterschiedliche Hautlichtsinnesempfindlichkeit unter diesem Gesichtspunkt erklären läßt. Die erhöhte Empfindlichkeit im Kurzwelligen ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß diese Strahlung im natürlichen Sonnenlicht eine geringere relative Energie hat als die langwelligere Strahlung. Das Sonnenspektrum weist in seiner relativen Energieverteilung ein Maximum um 650 nm auf und fällt gegen 690 nm wieder ab, das ist gerade der Bereich, der von den Dugesien wieder gemieden wird.

Die Regenerationsversuche haben ergeben, daß die Spektralbereiche, welche die Regeneration begünstigen, bei der Präferendumeinstellung dem Gesamtspektrum vorgezogen werden bzw. am wenigsten stimulierend auf die Bewegungsaktivität wirken. Bei der Dunkelheit verhält es sich so, daß die Regenerationsrate wiebeim „WG1-Licht“ relativ niedrig liegt; im Dunkel ist die Bewegungsaktivität sehr groß.

Diese Ergebnisse könnten auch einen indirekten Beweis für den Einfluß der sichtbaren Strahlung auf den Stoffwechsel der *Dugesia gonocephal* liefern. Unter den Versuchsbedingungen besteht die Möglichkeit, daß nach einiger Zeit die Energiedepots aufgebraucht sind und Körpersubstanz zur Energie-

gewinnung mit herangezogen werden dürfte. Bei Einwirkung der langwelligen Strahlung ist der Bewegungsstoffwechsel auf ein Mindestmaß reduziert und es sind mehr Reservestoffe für die Regeneration der Gewebe verfügbar. Kurzwellige Strahlung und Dunkelheit haben einen erhöhten Bewegungsstoffwechsel zur Folge, so daß weniger Stoffe für die Regeneration zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang findet auch das Ergebnis aus den Vorversuchen über die geringere Lichtempfindlichkeitsreaktionen der dekapitierten Tiere eine Erklärung. Frisch dekapitierte Tiere verharren infolge fehlender Photosensibilität anfangs im Ruhezustand. Mit dem Beginn der Regeneration des Hautlichtsinnes setzt die Bewegungsaktivität ein und als natürliche Folge ein erhöhter Bewegungsstoffwechsel.

Wie das Wachstum und die Organentwicklung der jungen Tiere, so hat auch der Regenerationsprozess eine Aktivierung des gesamten Stoffwechsels zur Folge. Da nun aber die kleinen *Dugesia gonocepala* rascher regenerieren als die großen, ist anzunehmen, daß in diesem Falle während der Regeneration eine „Umlagerung“ des Stoffwechsels stattfindet, indem der intensive Wachstums und Entwicklungsstoffwechsel gänzlich für die regenerativen Prozesse nutzbar gemacht wird. Im übrigen lassen die hier geschilderten Regenerationsversuche erkennen, daß der Regenerationsprozess der *Dugesien* einer Wachstumskurve folgt, wie sie bereits von C. ZELENY (1917) und M.M. ABELOOS (1930) angenommen wird. Im ganzen gesehen scheint die Regeneration auch im Hinblick auf die hier vorliegenden Ergebnisse dem MITSCHURIN - PAWLOW'schen Gesetz zu entsprechen, das in einer Arbeit von L.V. POLEZAJEW (1959) erneut dargelegt und bestätigt wird. Es besagt folgendes : Die Regenerationskapazität ist nur eine adaptive Form der Selbstreproduktion. Sie basiert auf Stoffwechselvorgängen und ist - wie das Wachstum - von den Existenzbedingungen des Organismus abhängig und variiert mit den durch endo- und exogene Faktoren veränderten Bedingungen.

Man könnte bei älteren *Dugesien* von einer "Reaktivierung", bei den jüngeren dagegen von einer „Transaktivierung“ des Wachstums- und Entwicklungsstoffwechsels sprechen.

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß nach Ausschalten der Augen die sichtbare Strahlung über den photodermalen Sinn regulativ den Muskeltonus beeinflusst. Dies äußert sich im präferendalen Ver-

halten, in der Bewegungsaktivität und in der Regenerationsgeschwindigkeit des Hautlichtsinnes. Alle drei Reaktionen sind gleichzeitig Indikatoren für die Intensität des Stoffwechselablaufs. Was für regulatorische Reaktionen auf weißes Licht bestimmter Strahlungsenergie zutrifft (vgl. W. v.BUDDENBROCK, 1920), gilt nach den hier dargelegten Befunden auch für Licht bestimmter Spektralbereiche. Die regulatorischen Lichtwirkungen haben den Zweck, das Tier in seinem optimalen Milieu zur Ruhe kommen zu lassen. Im Gegensatz zu J.H. WELSH (1933, 1933a) muß gesagt werden, daß die Bewegungsaktivität ganz allgemein nicht in direkter Abhängigkeit von der Strahlungsenergie steht, da einmal sich die Dugesien im Dunkeln, dann aber auch in kurzwelligen Spektralbereichen lebhafter bewegen als in langwelligen gleicher Energie. Es wird also angenommen, daß das Licht in seiner Wirkung nicht dem WEBER - FECHNER'schen Gesetz folgt, sondern einen spektralabhängigen stimulierenden oder hemmenden Effekt auf die Dugesien ausübt, wie es bereits von G. VIAUD (1950) gefordert wird.

Die Reizgröße der hier angewandten Spektralbereiche steht also in Beziehung zur Lichtsinnesempfindlichkeit und - vielleicht abgesehen von den Vorversuchen mit der 500-Watt -Glühlampe - nicht zur unspezifischen Lichtempfindlichkeit der Zelle. Es wird sich also bei den vorliegenden Untersuchungen in erster Linie um die Lichtsinnesempfindlichkeit handeln.

Bei fast allen Versuchen wird der Temperaturfaktor konstant gehalten. Es bleibt also zunächst noch offen, inwieweit Temperaturänderungen die Wirkung der optischen Strahlung modifizieren. Es hat sich bei den orientierenden Vorversuchen ergeben, daß Licht von hoher Strahlungsintensität ($1000 - 11000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) oder ständige Dunkelheit die Sterberate der Dugesien erhöhen. Dabei kommt es in allen Fällen zu erhöhter Schleimabsonderung und infolge vermehrter Muskelkontraktion zu verstärkter Bewegungsaktivität. Am wirksamsten ist die kurzwellige Strahlung, die schließlich eine Erschöpfung der Schleimproduktion hervorrufen kann, worauf unmittelbar der Zerfall der Gewebe einsetzt. Ist keine Schleimhülle mehr vorhanden, so liegt die Frage nahe, es zu einer Störung der Osmoregulation kommt, indem durch Hypertonie der Perivisceralflüssigkeit größere Wassermengen in den Organismus aufgenommen werden. Andererseits besteht das Problem

eines direkten Einflusses der Strahlung auf die Konsistenz des Schleimes, da besonders der UV-A - Anteil des Lichtes in der 500-Watt - Glühlampe noch enthalten ist, der stärker als alle anderen, langwelligeren Anteile absorbiert wird. R. LOTZ (unveröffentlicht) konnte bei Amphibieneiern nachweisen, daß eine Verflüssigung erst durch Strahlung unterhalb von 230 nm auftritt. Er fand, daß die Absorption dieses Schleimes etwa bei 235 nm liegt. Wenn man auch aufgrund dieser Arbeit erwarten muß, daß durch UV-Strahlung eine zunehmende Wasserlöslichkeit des Schleimes auftreten könnte, so ist im Gegensatz dazu in den hier aufgeführten Bestrahlungsversuchen eher ein „Zäherwerden“ des Schleimes zu beobachten. Erst nach geraumer Zeit, wenn die Schleimproduktion nachläßt, verliert der Schleim seine zähe Konsistenz.

Insgesamt ergeben sich aus den vorliegenden Ergebnissen folgende neue Gesichtspunkte über die Wirkung der sichtbaren optischen Strahlung auf den Organismus : Einmal wird gezeigt, daß ein Zusammenhang zwischen präferendaler Einstellung auf zwei energetisch gleichwertige Strahlungen mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung und der „Bewegungsaktivität“ besteht. Weiterhin kann erstmals festgestellt werden, daß sich der durch spezifische Lichtwirkung verursachte „Grad der Bewegungsaktivität“ mit einem entsprechenden „Grad der Regenerationsgeschwindigkeit“ gleichsetzen läßt.

V. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. *Dugesia gonocepala* zeigt die günstigsten Lebensäußerungen über einen größeren Zeitraum hinweg im diffusen Licht von etwa $70 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.
2. Die Spektralbereiche mit kurzwelligen Anteilen und den Grenzwellenlängen 390 nm, 460 nm und 540 nm werden bei Gegenüberstellung zur Strahlung mit den Grenzwellenlängen 630 nm und 690 nm stets signifikant weniger aufgesucht.
3. Stehen die Spektralbereiche mit den Grenzwellenlängen 630 nm und 690 nm zur Wahl, so wird in diesem Fall der Bereich mit den kurzwelligeren Anteilen signifikant vorgezogen.
4. Das „spektrale Präferendum“ liegt um 660 nm.
5. Es ist das engere „spektrale Präferendum“ neben einem etwas weiteren „energetischen Präferendum“ zu unterscheiden.
6. Die energetische Abhängigkeit der Präferendumeinstellung tritt gegen die spektrale Abhängigkeit zurück.
7. Jeder Spektralbereich hat einem anderen Bereich gegenüber eine „spezifische Wirkung“.
8. Stehen die Strahlungsenergien auf beiden Seiten in einem bestimmten Verhältnis zueinander, werden die Spektralbereiche in ihrer physiologischen Reizwirkung gleich und es tritt eine Verteilung von 50 % zu 50 % ein.
9. Die Dunkelheit wird allen Spektralbereichen in gleicher Weise signifikant vorgezogen. Sie ist als Reizgröße dem „energetischen Präferendum“ übergeordnet.
10. Der Schwellenwert der Lichtempfindung liegt für ungefiltertes Glühlampenlicht und für RG2-Licht bei etwa einem Millionstel der Ausgangsenergie von $71 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.
11. Die Kurve der Reaktionsempfindlichkeit ist mit der Kurve der „Hautlichtsinnesempfindlichkeit“ identisch.
12. Augenlose Dugesien zeigen die gleiche präferendale Einstellung wie intakte Tiere.
13. Eine 24-stündige Adaptation der Dugesien an das ungefilterte Glühlampenlicht ergibt nur eine geringe Verschiebung in der Verteilung, indem mehr Dugesien den Spektralbereich mit kurzwelligeren Anteilen aufsuchen.
14. Die Adaptationsdauer ist von dem Strahlungsspektrum abhängig und steht auch im Zusammenhang mit der Präferendumeinstellung.

15. Spektralbereiche mit annähernd monochromatischer Strahlung führen bezüglich der präferendalen Einstellung zu den gleichen Ergebnissen.
16. Einige Versuche weisen darauf hin, daß die Bewegungsaktivität der *Dugesia gonocephala* in Strahlung, deren Grenzwellenlängen im Kurzwelligen liegen und in der Dunkelheit erhöht ist.
17. Die Regeneration des Hautlichtsinnes wird in den Spektralbereichen mit den Grenzwellenlängen bei 540 nm, 630 nm und 690 nm begünstigt, im ungefilterten Glühlampenlicht und noch mehr in der Dunkelheit hingegen verzögert. Das Regenerieren des Augenpigmentes erfolgt im RG8-Licht mit der Grenzwellenlänge 690 nm bis zur Kontrolle nach 74 Stunden signifikant häufiger als in der Dunkelheit.

VI. Literatur.

- ABBOTT, C.H. (1918/19), Reactions of land Isopods to light.
J. Exp. Zool. 27.
- ABELOOS, M.M. (1927), La vitesse de régénération de la tête chez
Planaria gonocephala DUGÈS. Influence du niveau des sections.
C. R. Acad. Sc. 184, p. 345.
- (1930), Recherches expérimentales sur la croissance et la
régénération chez les planaires. Bull. Biol. France Belg. 64.
- ADAMS, G.P. (1903), On the negative and positive phototropism
of the earthworm *Allolobophora foetida* (SAV.) as determined
by light of different intensities. Amer. J. Physiol. 9.
- BAILEY, F.W. u. RILEY, C.F.C. (1931/32), Colour vision and the
formation of associations with reference to light of various
wavelengths in the parakeet, *Melopsittacus undulatus* (SHAW).
Transact. Royal Canad. Inst. 18.
- BALL, H.J. (1958), The effect of visible spectrum irradiation
on growth and development in several species of insects.
J. Econ. Entomol. 51, p. 573.
- BARDEEN, C.R. (1902), Embryonic and regenerative development
in Planarians. Biol. Bull. 3.
- BARTSCH, O. (1923), Histogenese der Planarienregenerate.
Zool. Anz. 56.
- BAUERS, C. (1953), Über die Orientierung wirbelloser Tiere zum
Licht. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 64.
- BENÉ, F. (1941), Experiments on the color preferences of black-
chinned humming-birds. Condor 43.
- BERNINGER, J. (1911), Über die Einwirkung des Hungers auf Pla-
narien. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 30.
- BERTHOLF, L.M. (1933), The extent of the spectrum for *Droso-*
phila and the distribution of stimulative efficiency in it.
Zschr. Vgl. Physiol. 18.
- BEUTHER, E. (1925/26), Über die Einwirkung verschiedenfarbigen
Lichtes auf Planarien.
Sitzber. u. Abh. Naturf. Ges. Rostock, 3. Folge, Bd. 1.
- BLÄSING, I. (1953), Experimentelle Untersuchungen über den Um-
fang der ökologischen und physiologischen Toleranz von *Plana-*
ria alpina und *Planaria gonocephala*. Zool. Jb. Allg. Zool. u.
Physiol. 64.

- BOCK, H. (1936), Lichtrückeneinstellung und andere lokomotorische Lichtreaktionen bei *Planaria gonocephala*.
Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 56.
- BONDI, C. (1956), Osservazioni sulla rigenerazione degli occhi in *Dugesia lugubris*. Riv. Biol. 48.
- (1958), Ricerche sperimentali sull'azione di alcuni induttori nella rigenerazione degli occhi in *Dugesia lugubris*. Riv. Biol. 50.
- (1959), Osservazioni sui rapporti tra rigenerazione degli occhi e sistema nervoso in *Dugesia lugubris*. Arch. Zool. Ital. 44.
- BRØNDSTED, H.V. (1942/43), A study in quantitative regeneration. The regeneration of eyes in the Planarian *Polycelis nigra*. Vidensk. Medd. fra dansk nat. For. 106.
- (1946), The existence of a static, potential and graded regeneration-field in Planarians . Kgl. dansk. Videnskab. Selsk. , Biol. Medd., 20.
- (1955), Planarian regeneration. Biol. Rev. 30.
- (1956), Experiments on the time-graded regeneration-field in Planarians. Kgl. dansk. Vidensk. Selsk., Biol. Medd., 23.
- BROWNE, L.B. (1957), The effect of light on the mating behaviour of the Queensland Fruit Fly *Strumeta tryoni* (FROGG.). Austral. J. Zool. 5.
- BUDDENBROCK, W.von (1920), Versuch einer Analyse der Lichtreaktionen der Heliciden.
Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 37.
- BÜNNING, E. u. JOERRENS, G. (1960), Tagesperiodische antagonistische Schwankungen der Blauviolett- und Gelbrot- Empfindlichkeit als Grundlage der photoperiodischen Diapause-Induktion bei *Pieris brassicae*. Zschr. Naturf. 15b, p. 205.
- MCCABE, R.A. (1961), The selection of colored nest boxes by house wrens. Condor 63.
- CHILD, C.M. (1908), The physiological basis of restitution of lost parts. J. Exp. Physiol. 5.
- (1920), Studies on the dynamics of morphogenesis and inheritance in experimental reproduction. X. Head frequency in *Planaria dörtocephala* in relation to age nutrition and motor activity. J. Exp. Zool. 30.

- CHILD, C.M. u. WATANABE, Y. (1935), The head frequency gradient in *Euplanaria dorotocephala*. *Physiol. Zool.* 8.
- COLE, W.H. (1922), Note on the relation between the photic stimulus and the rate of locomotion in *Drosophila*. *Science* 55, p. 678.
- and DEAN, C.F. (1917), The photokinetic reactions of frog tadpoles. *J. Exp. Zool.* 23.
- DENZER, U. (1935), Helligkeits- und Farbensinn bei deutschen Süßwasseregeln. *Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol.* 55.
- DOLLEY, W.L., Jr. (1916), Reactions to light in *Vanessa antiopea*, with special reference to circus movements. *J. Exp. Zool.* 20.
- DRIESCH, H. (1892), *Entwicklungsmechanische Studien*. II. Über die Beziehungen des Lichtes zur ersten Etappe der tierischen Formenbildung. *Zschr. wiss. Zool.* 53.
- DUBOIS, F. (1949), Contribution à l'étude de la migration des cellules de régénération chez les Planaires dulcicoles. *Bull. Biol. France Belg.* 83.
- DUFAY, M.C. (1957), Etude du phototropisme des Noctuides. Influence de la longueur d'onde à énergie égale. *C. R. Acad. Sc.* 245, p. 1569.
- (1957a), Etude du phototropisme des Noctuides. Mise en évidence et détermination d'un seuil minimum de réaction en différentes lumières monochromatiques. *C.R. Acad. Sc.* 245, p. 1955.
- (1961), Etude du phototropisme des Noctuides. Réactions de *Noctua pronuba* L. en présence de deux sources lumineuses de même intensité énergétique, mais de longueurs d'onde différentes. *C. R. Acad. Sc.* 252, p. 1866.
- EISLER, R. (1961), Studies on the effects of visible light on different developmental stages of the chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytsa*. *Dissert. Abstr. USA*, 22, p. 1751.
- ERHARDT, A. (1932), Ein Beitrag zu den Helligkeitsreaktionen von *Planaria lugubris* O. SCHM. *Biol. Zbl.* 52.
- EWALD, W.F. (1910), Über Orientierung, Lokomotion und Lichtreaktionen einiger Cladoceren und deren Bedeutung für die Theorie der Tropismen. *Biol. Zbl.* 30.

- FÉRON, M. (1957), Le comportement de ponte de *Ceratitis capitata* : Influence de la lumière .
Rev. pathol. vég. Entomol. agric. France, 36.
- FOLGER, H.T. (1924/25), A quantitative study of reactions to light in *Amoeba*. J. Exp. Zool. 41.
- FRAENKEL, G. (1927), Über Photomenotaxis bei *Elysia viridis* MONT. Zschr. Vgl. Physiol. 6.
- FRISCH, K. von (1923), Das Problem des tierischen Farbensinnes. Naturwiss. 11.
- und KUPELWIESER, H. (1913), Über den Einfluß der Lichtfarbe auf die phototaktischen Reaktionen niederer Krebse. Biol. Zbl. 33.
- GENZEL, L. (1952), Durchlässigkeit von Wasser im nahen Ultra-Rot. Optik 9.
- GERASIMOV, V.D. (1958), ukrainisch, engl. Zsfsgg.: Effect of light on the motor activity of *Anodonta cygnea*. Fiziol. Zh. Ukrainsk R.S.R. 4, p. 768.
- GIESE, A.C. (1947), Radiations and cell division. Quart. Rev. Biol. 22.
- GILBERT, I.H. u. GOUCK, H.K. (1957), Influence of surface color on Mosquito landing rates. J. Econ. Entomol. USA, 50, p. 678.
- McGINNIS, M.O. (1911), Reactions of *Branchipus* to light, heat, and gravity. J. Exp. Zool. 10.
- GLICK, P.A. (1955), Response of moths of the Pink Bollworm and other cotton insects to certain ultraviolet and visible radiation. J. Econ. Entomol. USA, 48, p. 173.
- GOETSCH, W. (1925), Regeneration und Determination. Biol. Zbl. 45.
- GROSS, A.O. (1913), The reactions of arthropods to monochromatic light of equal intensities. J. Exp. Zool. 14.
- GUI, H.L., PORTER, L.C. u. PRIDEAUX, G.F. (1942), Response of insects to color, intensity and distribution of light. Agric. Engin. 23, p. 51.
- HAMDORF, K. (1959), Die Beeinflussung der Embryonal- und Larvalentwicklung der Regenbogenforelle (*Salmo irideus* GIBB.) durch Strahlung im sichtbaren Bereich. Zschr. Vgl. Physiol. 42.
- HARRINGTON, S.R. u. LEAMING, E. (1900), The reaction of *Amoeba* to lights of different colors. Amer. J. Physiol. 3.

- HAUG, G. (1933), Die Lichtreaktionen der Hydren, *Chlorohydra viridissima* und *Pelmatohydra oligactis* (P.) *typica*.
Zschr. Vgl. Physiol. 19.
- HEBERDEY, R.F. u. KIPKA, E. (1942), Das Helligkeitsunterscheidungsvermögen von *Daphnia pulex*. Zschr. Vgl. Physiol. 29.
- HECHT, S. (1921), The relation between the wavelength of light and its effect on the photosensory process.
J. Gen. Physiol. 3, p. 375.
- (1928), The reaction of time, intensity and wavelength in the photosensory system of *Pholas*. J. Gen. Physiol. 11, p. 657.
- HENKE, G. (1956), Über Photokinese bei Planarien. Untersuchungen an geteilten Tieren. Naturwiss. 43.
- (1956a), Photokinese einiger Brack- und Süßwasserplanarien bei Einwirkung von Licht verschiedener Wellenlänge. *ibid*.
- HERMS, W.B. (1911), The photic reactions of Sarcophagid flies, especially *Lucilia caesar* L. and *Calliphora vomitoria* L.
J. Exp. Zool. 10.
- HERRSTRÖM, G. (1949), Illumination preferendum and adaptation experiments with *Agonum dorsale* PONT. Oikos, Copenh., 1.
- HERZBERG, F. u. A. (1960), The effect of cold on the growth of *Helix aspersa*. J. Exp. Zool. 145.
- HESS, C. (1910), Neue Untersuchungen über den Lichtsinn bei wirbellosen Tieren. Arch. ges. Physiol. 136.
- HESSE, R. (1897), Untersuchungen über die Organe der Lichtempfindung bei niederen Tieren. II. Die Augen der Plathelminthen, insonderheit der tricladen Turbellarien.
Zschr. wiss. Zool. 62.
- HITCHCOCK, L., Jr. (1961), Color sensitivity of the *Amoeba* revisited. J. Protozool. USA, 8.
- HODEK, I. (1958), Vliv teploty, vlhkosti a světla na ontogenetický vývoj slunéčka sedmtečného (*Coccinella septempunctata* L.); Einfluß von Temperatur, relativer Feuchtigkeit und Photoperiodizität auf die Entwicklungsgeschwindigkeit von *Cocc. septemp.* (engl. Zsfssg.).
Časop. Českoslov. spol. entomol. 55.
- HUNDERTMARK, A. (1937), Helligkeits- und Farbunterscheidungsvermögen der Eirauen der Nonnen (*Lymantria monacha* L.).
Zschr. Vgl. Physiol. 24.

- ILSE, D. (1929), Über den Farbensinn der Tagfalter.
Zschr. Vgl. Physiol. 8.
- JÄNICHEN, E. (1897), Beiträge zur Kenntnis des Turbellarienauges. Zschr. wiss. Zool. 62.
- JONES, F.R.H. (1956), The behaviour of minnows in relation to light intensity. J. Exp. Biol. G.B., 33, p. 271.
- KILLOUGH, R.A. (1962), The relative attractiveness of electromagnetic energy to nocturnal insects.
Dissert. Abstr. USA, 22, p. 2130.
- KOEHLER, O. (1932), Beiträge zur Sinnesphysiologie der Süßwasserplanarien. Zschr. Vgl. Physiol. 16.
- (1957), Lichtempfindlichkeit und Lichtsinn niederer Tiere. Studium generale 10, Heft 4.
- KOLLER, S. (1953), Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Darmstadt.
- KOLMAYER, S. u. STÉPHAN-DUBOIS, F. (1960), Néoblastes et limitation du pouvoir de régénération céphalique chez la planaire *Dendrocoelum lacteum*. J. Embryol. Exp. Morphol. 8.
- KROPP, B. u. ENZMANN, E.V. (1933), Photic stimulation and leg movements in the crayfish. J. Gen. Physiol. 16.
- KUCIAS, J. (1960), Zur Frage einer Beeinflussung der Entwicklungsgeschwindigkeit durch Regenerationsprozesse. Naturwiss. 47.
- KUHN, O. (1960), Außeroptische Lichtwirkungen bei tierischen Organismen. Studium generale 13 Heft 8.
- KÜHN, A. u. FRAENKEL, G. (1928), Über das Unterscheidungsvermögen der Bienen für Wellenlängen im Spektrum. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen Jahr 1927, Mathem.-Physikal. Kl.
- LANG, P. (1912), Über Regeneration bei Planarien. Arch. Mikroskop. Anat. 79.
- LARCHÉ, K. (1942), Die Ultravitaluxlampe mit Innenreflektor, eine neue Lichtquelle für künstliche Sonnenstrahlung und ihr Einbau in Bestrahlungsanlagen und Bestrahlungsräume. Licht 12.
- LAURENS, H. (1908/13), The reactions of Amphibians to monochromatic lights of equal intensities. Bull. Museum Compar. Zool. USA, 8.
- (1914), The reactions of normal and eyeless amphibian larvae to light. J. Exp. Zool. 16.

- LEES, A. D. (1954), Photoperiodism in Athropods.
Proceed. 1st Intern. Photobiol. Congr. Amsterdam.
- LEMKE, G. (1935), Beiträge zur Lichtorientierung und zur Frage des Farbensehens der Planarien. Zschr. Vgl. Physiol. 22.
- LINDH, N. O. (1956), The metabolism of nucleic acids during regeneration in Euplanaria polychroa. Arkiv Zool. 9.
- (1957), The mitotic activity during the early regeneration in Euplanaria polychroa. Arkiv Zool. 10.
- (1958), Histological aspects on regeneration in Euplanaria polychroa. Arkiv Zool. 11.
- IJUBIZKAJA, A.I. (1956), russisch, engl. Zsfssg.: Influence of several parts of the visible spectrum on developmental stages of fish-embryos and -larvae. Zool. Ž. 35.
- (1961), russisch, engl. Zsfssg. : Action of different portions of visible spectrum, of darkness and temperature on the survival and body metamery of fishes. Zool. Ž. 40.
- IOEB, J. (1896), Über den Einfluß des Lichtes auf die Organbildung bei Tieren. Arch. ges. Physiol. 63.
- IOTZ, R. (1948), Der Einfluß der Strahlung auf den Stoffwechsel. Verh. Dtsch. Zool. Ges.
- (1950), Das „Strahlungsklima“ zur Steuerung des Gasstoffwechsels von Säugetieren. Zschr. Vgl. Physiol. 32.
- (1957), Entwicklung und Wachstum von Amphibienlarven in ihrer Abhängigkeit von der optischen Strahlung.
Vorl. Mitt. in Atti 2^o Congr. intern. Fotobiol. Torino.
- u. THIEL, N. (1962), Analyse der Wirkung von Außenfaktoren auf den Stoffwechsel von Tenebrio molitor.
Naturwiss. 49, Heft 16, p. 378.
- u. FRITZ, H. (1963), Die Regeneration des Hautlichtsinnes bei Dugesia (= Planaria) gonocephala in ihrer Abhängigkeit von der optischen Strahlung. Naturwiss. 50, Heft 3, p. 103.
- u. FRITZ, H. (1963), Die spektrale und energetische Strahlungsabhängigkeit der „Präferendumeinstellung“ von Dugesia (= Planaria) gonocephala. Naturwiss. 50, Heft 6, p. 232.
- LUDWIG, W. u. SCHNEIDER-HEMPER, I. (1954/55), Seitenstetigkeit niederer Tiere im Ein- und Zweilichtversuch. III. Versuche an geblendeten Tieren und bei verschiedenem Lichtgefälle. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 65.

- LÜLING, K.H. (1954/55), Untersuchungen am Blidfisch *Anoptichthys jordani* HUBBS u. INNES (Characidae). II. Beobachtungen und Experimente an *Anoptichthys jordani* zur Prüfung der Einstellung zum Futter, zum Licht und zur Wasserturbulenz. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 65.
- MAGUIRE, B., Jr. (1960), Lethal effect of visible light on cavernicolous Ostracods. Science 132, p. 226.
- MARTOF, B.S. (1962), The behaviour of Fowler's toad under various conditions of light and temperatures. Physiol. Zool. USA, 35.
- MAST, S.O. (1917), The relation between spectral color and stimulation in lower organisms. J. Exp. Zool. 22.
- u. STAHLER, N. (1937), The relation between luminous intensity, adaptation to light, and rate of locomotion of *Amoeba proteus* (LEIDY). Biol. Bull. 73.
- MERKER, E. (1923), Das Verhalten feuchthäutiger Tiere im Lichte. Zool. Anz. 57.
- (1936), Die Temperaturabhängigkeit und das Nichtgelten des photochemischen Aktinometersatzes bei der tödlichen Wirkung kurzwelligen Lichtes auf feuchthäutige Tiere. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 56.
- (1937), Der Lichttod feuchthäutiger, wechselwarmer Tiere. Naturwiss. 25.
- (1940), Die Lichtempfindlichkeit und der Lichtsinn der Tiere. Naturwiss. 28.
- u. GILBERT, H. (1932), Die Widerstandsfähigkeit von Süßwasserplanarien im ultraviolettreichen Licht. Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 50.
- MEYER, A.E.R. u. SEITZ, E.O. (1949), Ultraviolette Strahlen. Ihre Erzeugung, Messung und Anwendung in Medizin, Biologie und Technik. Berlin.
- MICHIELI, Š. (1957), Wirkung kurzwelligen Lichtes auf Schmetterlinge. Cons. Acad. R. P. F. Yougoslav., Bull. Sci., 3.
- MIESCHER, G. (1960), Biologie und Pathologie des sichtbaren Lichtes, des Ultravioletts und des Infrarots. Hdb. Allg. Pathol. 10/1, Strahlung u. Wetter. Berlin- Göttingen- Heidelberg.

- MILLOTT, N. (1957), Lichtempfindlichkeit bei augenlosen Tierformen. Endeavour 16 N° 61.
- u. YOSHIDA, M. (1957), Spectral sensitivity of an Echinoid. Nature 179, p. 924.
- MINNICH, D. E. (1919), The photic reactions of the honey-bee, *Apis mellifera* L. J. Exp. Zool. 29.
- MOORE, M.M. (1928), The reactions of *Cerianthus* to light. J. Gen. Physiol. 8, p. 509.
- MÜLLER, A. (1926), Über Lichtreaktionen von Landasseln. Zschr. Vgl. Physiol. 3.
- MUNIZ, R. y BARRERA, A. (1960), Capacidad de diferenciación de tonos claros y oscuros con datos sobre la orientación geotáctica en mosquitos. Acta zool. mexic. 4 N° 6.
- NORTH, W.J. u. PANTIN, C.F.A. (1958), Sensitivity to light in the sea-anemone *Metridium senile* (L.) : Adaptation and action spectra. Proceed. Roy. Soc. London, Ser. B, 148, p. 385.
- OBRESHKOVE, V. (1921), The photic reactions of tadpoles in relation to the Bunsen-Roscoe law. J. Exp. Zool. 34.
- PATTEN, B.M. (1917), Reactions of the whip-tail scorpion to light. J. Exp. Zool. 23.
- PEARL, R. (1903), The movements and reactions of freshwater planarians : A study in animal behaviour. Quart. J. Microsc. Sc. 46.
- PEARSE, A.S. (1910), The reactions of Amphibians to light. Proceed. Americ. Acad. Arts Sc. 45.
- PEDERSEN, K.J. (1959), Cytological studies on the planarian neoblast. Zschr. Zellf. Mikrosk. Anat. 50.
- PINCUSSEN, L. (1921), Biologische Lichtwirkungen, ihre physikalischen und chemischen Grundlagen. Ergebn. Physiol. 19.
- PIRENNE, M.H. u. MARRIOTT, F.H.C. (1955), Light sensitivity of the aquatic flatworm *Dendrocoelum lacteum*. Nature 175.
- POLEŽAJEW, L.V. (1959), russisch, engl. Zsfssg. : Some new approaches to the regeneration problem. Folia biologica (Kraków) 7.

- POUCHET, M.G. (1871/ 72), De l'influence de la lumière sur les larves de Diptères privées d'organes extérieurs de la vision. Rev. et Mag. Zool. 2^{me} série, 23; pp. 110, 129, 183, 225, 261, 312.
- PRECHT, H. (1942), Das Taxisproblem in der Zoologie. Zschr. wiss. Zool. 156.
- (1951), Über die Orientierung der Tiere zum Licht. Verh. Dtsch. Zool. Ges.
- PRENANT, M. (1919), Recherches sur les rhabdites des turbellariés. Arch. Zool. Exp. et Génér. 58.
- RICHARD, G. (1950), Le phototropisme du termite à cou jaune (*Calotermes flavicollis* FABR.) et ses bases sensorielles. Ann. Sci. natur. Zool. 12.
- RYLAND, J.S. (1960), Experiments on the influence of light on the behaviour of Polyzoon larvae. J. Exp. Biol., G.B., 37.
- SANDER, W. (1934), Phototaktische Reaktionen der Bienen auf Lichter verschiedener Wellenlänge. Zschr. Vgl. Physiol. 20.
- SCHAEFER, H.H. u. HESS, E.H. (1953), Color preferences in imprinting objects. Zschr. Tierpsych. 16.
- SCHLIEPER, C. (1929), Über die Helligkeitsverteilung im Spektrum bei verschiedenen Insekten. Zschr. Vgl. Physiol. 8.
- , BLÄSING, I. u. HALSBAND, E. (1952), Experimentelle Veränderungen der Temperaturltoleranz bei isothermen und eurythermen Wassertieren. Zool. Anz. 149.
- SCHULTZ, E. (1902), Aus dem Gebiete der Regeneration. II. Über die Regeneration bei Turbellarien. Zschr. wiss. Zool. 72.
- SEGALL, J. (1933), Versuche über Lichtreaktionen und Lichtempfindlichkeit beim Regenwurm. Zschr. Vgl. Physiol. 19.
- SEILERN-ASPANG, F. (1960), Beobachtungen über Zellwanderungen bei Tricladengewebe in der Gewebekultur. ROUX' Arch. Entw. mech. Organ. 152.
- ✓ SIVICKIS, P.B. (1931), A quantitative study of regeneration in *Dendrocoelum lacteum*. Arb. II. Abt. Ungar. Biol. Forsch. I., 4
- SMITH, E.V. (1915/17), Effect of light on the development of young salmon. Puget Sound Marine Station Public. 1.
- SRINAVASAGAM, R.T. (1961), The responses of *Dasychone cingulata* GRUBE to photic stimulation. Proceed. Ind. Acad. Sc., B, 54.

- STEINMANN, P. (1925), Das Verhalten der Zellen und Gewebe im regenerierenden Tricladenkörper. *verh. Naturf. Ges. Basel* 36.
- (1926), Prospektive Analyse von Restitutionsvorgängen.
I. Teil : Die Vorgänge in den Zellen, Geweben und Organen während der Regeneration von Planarienfragmenten. *ROUX' Arch. Entw. mech. Organ.* 108.
- (1930), Vom Orientierungssinn der Tricladen (Versuch einer Analyse mit Hilfe der vitalen Färbung). *Zschr. Vgl. Physiol.* 11.
- STÉPHAN-DUBOIS, F. u. KOLMAYER, S. (1959), La migration et la différenciation des cellules de régénération chez la planaire *Dendrocoelum lacteum*. *C. R. Soc. Biol. Paris*, 153, p. 1856.
- STERMER, R.A. (1959), Spectral response of certain stored-product insects to electromagnetic radiation.
J. Econ. Entomol. USA, 52.
- STILO, A. (1935), Sull'effetto delle luci colorate sullo sviluppo delle uova di *Bufo vulgaris*.
Atti R. Accad. Peloritana, Messina, 37.
- STOPPENBRINK, F. (1905), Der Einfluß herabgesetzter Ernährung auf den histologischen Bau der Süßwassertricladen.
Zschr. wiss. Zool. 79.
- STRINGER, C.E. (1917), The means of locomotion in Planarians.
Proceed. Nation. Acad. Sc. 3.
- TALIAFERRO, W.H. (1920), Reactions to light in *Planaria maculata*. *J. Exp. Zool.* 31.
- TEST, F.H. (1946), Reactions of the red-backed salamander (*Plethodon cinereus*) to light and contact.
Ecology 27, p. 246.
- THIEL, N. (1961), Außeroptische Wirkungen sichtbarer Strahlung auf den Stoffwechsel von *Tenebrio molitor*. *Dissert. Frankfurt/M.*
- THIEMANN, W. (1957/58), Die Phototaxis als Präferenzumeinstellung. Versuche an *Planaria gonocephala* DUGÈS.
Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 67.
- THOMOPOULOS, A. (1956), Influence de la lumière sur le mouvement de l'oeuf de Truite (*Salmo irideus* GIBB.).
C. R. Soc. Biol. Paris, 150, p. 2091.
- TORELLE, E. (1903), The response of the frog to light.
Americ. J. Physiol. 9.

- TÖRÖK, L.J. (1958), Experimental contributions to the regenerative capacity of *Dugesia* (*Euplanaria*) *lugubris*.
Acta Biol. Acad. Sc. Hungar. 9.
- TSCHERNJISCHEW, V.B. (1959), russisch, engl. Zsfassg.: Responses of some insect species to different areas of the spectrum. Zool. Ž. 38.
- VIAUD, G. (1935), Equilibres statistiques et capacité d'adaptation sensorielle de populations de *Daphnies* soumises à l'action de lumières monochromatiques d'égale énergie. C.R. Soc. Biol. Paris, 120, p. 1320.
- (1940), Recherches expérimentales sur le phototropisme des Rotifères . I. Bull. Biol. France Belg. 74, p. 249.
- (1943), Recherches expérimentales sur le phototropisme des Rotifères. II. ibidem, 77, p. 68.
- (1943a), Recherches expérimentales sur le phototropisme des Rotifères. III. ibidem, 77, p. 224.
- (1947), Sur le phototropisme de la planaire *Fonticola vitta DUGÈS*. Mise en évidence de l'action inhibitrice de la lumière. C. R. Soc. Biol. Paris, 141, p. 1264.
- (1950), Recherches expérimentales sur le phototropisme des planaires. Behaviour 2.
- (1951), Le phototropisme chez les Gladocères, les Rotifères et les Planaires. Année biol. 3^{me} sér., 27, fasc. 5.
- (1958), Sur la prétendue sensibilité chromatique des *Daphnies*. Reprise des expériences de K. v. FRISCH et H. KUPELWIESER (1913). C. R. Soc. Biol. Paris, 152, p. 1572.
- VOIGT, W. (1928), Verschwinden des Pigmentes bei *Planaria polychroa* und *Polycelis nigra* unter dem Einfluß ungünstiger Existenzbedingungen. Zool. Jb. allg. Zool. u. Physiol. 45.
- WATANABE, Y. (1935), Rates of head development as indicated by time of appearance of eyes in the reconstitution of *Euplanaria dorotocephala*. Physiol. Zool. 8.
- WELSH, J.H. (1933), Light intensity and extent of activity of locomotor muscles as opposed to cilia. Biol. Bull. 65.
- (1933a), Photokinesis and tonic effect of light in *Unionicola*. J. Gen. Physiol. 16.

- WERNER, O. (1926), Reizphysiologische Untersuchungen an Planarien im ultravioletten Lichte.
Zool. Jb. Allg. Zool. u. Physiol. 43.
- WILDE, J de u. BONGA, H. (1958), Observations on threshold intensity and sensitivity to different wavelengths of photoperiodic responses in the Colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata* SAY). Entomol. Exp. Applic. Amsterdam, 1 n° 4.
- WOLFF, E. u. DUBOIS, F. (1948), Sur la migration des cellules de régénération chez les planaires. Rev. Suisse Zool. 35.
- WOODHEAD, P.M.J. (1956), The behaviour of minnows (*Phoxinus phoxinus* L.) in a light gradient. J. Exp. Biol., G.B., 33.
- (1957), Reactions of Salmonid larvae to light.
J. Exp. Biol., G.B., 34.
- YERKES, R.M. (1900), Reaction of Entomostraca to stimulation by light. Americ. J. Physiol. 3.
- (1903), A study of the reactions and reaction time of the Medusa *Gonionema murbachii* to photic stimuli. ibd. 9.
- ZELENY, C. (1917), The effect of degree of injury, level of cut, and time within the regenerative cycle upon the rate of regeneration. Proceed. Nation. Acad. Sc. 3.

Lebenslauf

Hans F r i t z, geboren am 20. Februar 1937 zu Darmstadt
als Sohn des Regierungsassistenten Paul Oskar Fritz
und dessen Ehefrau Magdalene, geb. Salomon.

Herbst 1943 bis Herbst 1944 und Herbst 1945 bis Herbst 1947
Besuch der Grundschule in Darmstadt.

Herbst 1947 bis Februar 1957 Justus-Liebig-Schule in Darmstadt.
Reifeprüfung am 26. Februar 1957.

Immatrikulation an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in
Frankfurt am Main am 24. April 1957.

Studium der Zoologie, Botanik und Chemie.

Die vorliegende Arbeit wurde unter der Leitung von
Herrn Privatdozent Dr. Robert Lotz in der Zeit von Anfang 1960
bis Ende 1962 am Zoologischen Institut durchgeführt.

